

**PENENTUAN SETTING LEVEL OPTIMAL MEDIA
PENJERNIH AIR TERHADAP TINGKAT KEKERUHAN DAN
KANDUNGAN Fe DENGAN METODE FULL FACTORIAL 2²
DAN PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS**

Skripsi



**HARI SUDARMONO
I 0304005**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Air adalah salah satu kebutuhan pokok manusia. Manusia mampu bertahan hidup tanpa makan dalam beberapa minggu, namun tanpa air manusia akan mati dalam beberapa hari saja. Di Indonesia cakupan pelayanan air bersih masih rendah. PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) hanya mampu memasok kebutuhan di kota-kota saja dengan kuantitas yang juga masih kecil. Akibatnya, sebagian besar masyarakat yang tidak terjangkau oleh pelayanan air bersih umumnya menggunakan air tanah atau air permukaan untuk keperluan hidupnya sehari-hari. Namun, kedua sumber air ini sering kali hanya dapat memenuhi kebutuhan secara kuantitatif. Tanpa pengolahan, kualitas fisik, kimiawi dan biologis air permukaan dan air tanah di sebagian besar wilayah Indonesia belum memenuhi standar. (Kepmenkes RI No 907/MENKES/SK/VII/2002) sehingga tidak layak untuk diminum (Rahman, 2004),.

Berdasarkan Kepmenkes RI No 907/MENKES/SK/VII/2002 agar dapat dipergunakan air harus memenuhi kriteria tertentu antara lain tingkat kekeruhan, warna, temperatur, rasa, bau, nitrat, nitrit, kesadahan, Fe, kandungan E. Coli dan sebagainya. Di Indonesia, air tanah sering mengandung zat besi (Fe) dan biasanya diikuti dengan tingkat kekeruhan yang tinggi (Said, 2000). Menurut Saifuddin (2005), kandungan Fe yang melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) menyebabkan rasa tidak enak dalam air, meninggalkan noda pada alat dan bahan – bahan yang berwarna putih, menimbulkan bau dan warna dalam air. Berdasarkan pengamatan di lapangan, air hasil olahan filter yang sekarang (dengan media utama berupa pasir) masih berbau, belum jernih dan menimbulkan warna kuning pada dinding kamar mandi. Hal ini mengindikasikan bahwa

kandungan Fe pada air sumur tersebut melebihi NAB. Hasil penelitian pendahuluan terhadap sampel air hasil filtrasi tersebut menunjukkan kandungan Fe sebesar 3,458 mg/ l dan tingkat kekeruhan sebesar 16 NTU sehingga dapat disimpulkan air tersebut melebihi NAB berdasarkan Kepmenkes RI No 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang persyaratan kualitas air minum yang menerangkan bahwa kadar Fe dalam air maksimum diperbolehkan 0,3 mg/l dan tingkat kekeruhan maksimum 5 NTU.

Menurut Suciastuti dan Sutrisno (1987) Sebenarnya, zat besi merupakan suatu unsur yang penting dan berguna untuk metabolisme tubuh. Untuk keperluan ini tubuh membutuhkan 7 – 35 mg/hari. Zat besi dalam jumlah kecil dibutuhkan oleh tubuh untuk pembentukan sel-sel darah merah. Unsur tersebut tidak hanya diperolehnya dari air. Konsentrasi unsur ini dalam air yang melebihi ± 2 mg/l akan menimbulkan noda-noda pada peralatan dan bahan-bahan yang berwarna putih. Adanya unsur ini dapat menimbulkan bau dan warna pada air minum, dan warna koloid pada air. Selain itu, konsentrasi yang lebih besar dari 1 mg/l dapat menyebabkan warna air menjadi kemerah-merahan, rasa yang tidak enak pada minuman, dan dapat membentuk endapan pada pipa-pipa logam dan bahan cucian. Menurut Riyadi (1984), sekalipun Fe diperlukan oleh tubuh, tetapi dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kematian sering disebabkan oleh rusaknya dinding usus ini. Debu Fe juga dapat diakumulasi di dalam alveoli dan menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru. Menurut Sugiharto (1985), adanya Fe akan memberikan warna coklat kekuning-kuningan dan baunya tidak enak. Sifat ini hilang bila ditambahkan O_2 akan menjadi Ferri yang bisa mengendap, tetapi bila dalam sumur terdapat endapan Ferri maka $Ferri + H_2O$ menjadi $Fe(OH)_3$. $Fe(OH)_3$ ini akan menimbulkan efek antara lain:

- a. Mengotori bak yang terbuat dari seng, mengotori wastafel dan kloset.
- b. Menimbulkan warna coklat pada pakaian.

- c. Menyumbat saluran air minum sehingga menyebabkan pembuntuan.
- d. Fe^{2+} juga menimbulkan *corrosive* yang disebabkan oleh bakteri golongan *Crenothri*.

Kekeruhan didalam air oleh adanya zat tersuspensi, seperti lempung, lumpur, zat organik, plankton dan zat – zat halus lainnya. Kekeruhan merupakan sifat optis dari suatu larutan, yaitu hamburan dan absorpsi cahaya yang melaluinya. Tidak dapat dihubungkan secara langsung antara kekeruhan dan kadar semua jenis zat tersuspensi sehingga air keruh tidak dapat secara langsung dikatakan berbahaya. Namun dari segi estetika, air keruh tidak layak (tidak wajar) untuk diminum (Alerts,2000).

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas perlu dipikirkan suatu teknologi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut dengan biaya yang terjangkau. Menurut Standar Nasional Indonesi (2008), Saringan Pasir lambat sangat cocok digunakan untuk mengolah air sumur yang mempunyai kekeruhan sedang sampai rendah. Menurut *Clean Washington Center* (2002), *crushed recycle glass* dapat digunakan sebagai media yang efektif dalam saringan pasir lambat. Menurut Rahayu (2004), penggunaan arang tempurung kelapa dapat memperbaiki kualitas air sumur secara kimiawi. Menurut Rahman (2004), zeolit cukup efektif menurunkan kandungan Fe. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan dua buah reaktor yaitu reaktor saringan pasir lambat (filtrasi) dan reaktor adsorpsi agar didapatkan air yang jernih dan mempunyai kandungan Fe dibawah NAB.

Untuk mengetahui efektifitas dan pengaruh media – media filtrasi dan media adsorpsi tersebut dalam mengurangi kekeruhan dan menurunkan kadar Fe, pada penelitian ini digunakan eksperimen *full factorial*. Kelebihan eksperimen *full factorial* yaitu dapat mengkombinasikan semua faktor dan level pada eksperimen sehingga diharapkan efektifitas reaktor dapat diketahui.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dirumuskan permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana mengukur kemampuan kombinasi reaktor dalam menurunkan kekeruhan dan kandungan Fe?
2. Bagaimana memilih kombinasi reaktor yang paling efektif dalam menurunkan kekeruhan, kandungan Fe, dan kedua karakteristik tersebut secara simultan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengukur kemampuan kombinasi reaktor dalam menurunkan kekeruhan dan kandungan Fe.
2. Menentukan kombinasi reaktor yang paling efektif dalam menurunkan kekeruhan, kandungan Fe, dan kedua karakteristik tersebut secara simultan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Mendapatkan suatu alternatif teknologi yang murah, sederhana, dan mudah pengoperasiannya untuk menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan Fe pada air bersih
2. Mendapatkan media - media yang dapat meningkatkan kualitas air bersih.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka perlu dilakukan batasan permasalahan, yaitu:

1. Karakteristik mutu yang akan diteliti adalah tingkat kekeruhan dan kandungan Fe dalam air. Pemilihan karakteristik mutu ini dilakukan berdasarkan hasil diskusi dengan petugas Dinas Kesehatan Kabupaten Purworejo dan pengamatan langsung gejala - gejala yang ditimbulkan di lapangan.
2. Desain alat mengacu pada ketentuan Standar Nasional Indonesia tentang Perencanaan Instalasi Saringan Pasir Lambat.
3. Sampel air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang diambil dari air sumur Bapak Rohman Sodik.
4. Arang dan zeolit yang digunakan sebagai *adsorbent* diambil dari satu tempat produksi yang sama. Zeolit diambil dari Klaten dan arang tempurung kelapa diambil dari Purworejo.

1.6 Asumsi

Asumsi penelitian diperlukan untuk menyederhanakan kompleksitas permasalahan yang diteliti. Asumsi-asumsi yang digunakan, adalah:

1. Kualitas air, derajat keasaman (pH), dan konsentrasi Fe diasumsikan sama.
2. Kemampuan adsorpsi dan distribusi ukuran pori *adsorbent* tersebut diasumsikan sama.
3. Pengadukan diasumsikan sama.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan berbagai hal mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, asumsi-asumsi dan sistematika penulisan. Uraian bab ini dimaksudkan untuk menjelaskan latar belakang penelitian yang dilakukan sehingga sesuai dengan tujuan penelitian, batasan-batasan dan asumsi yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang akan dipakai untuk mendukung penelitian, sehingga perhitungan dan analisis dilakukan secara teoritis. Bab ini berisi mengenai teori – teori mengenai karakter-karakter pokok alat penjernih air, dan metode eksperimen *full factorial*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan gambaran terstruktur tahap demi tahap proses pelaksanaan penelitian dalam bentuk *flow chart*, membahas tentang tahapan yang dilalui dalam penyelesaian masalah sesuai dengan permasalahan yang ada mulai dari identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, pengolahan data, kesimpulan dan pemberian saran terhadap penelitian.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini membahas mengenai proses yang dilakukan dalam pengumpulan dan pengolahan data. Pembahasan tentang pengumpulan data secara rinci akan dikemukakan mulai dari hasil pengujian kualitas air dengan pengolahan menggunakan alat yang digunakan saat ini hingga diperoleh data-data dari hasil penelitian.

BAB V ANALISIS HASIL PENELITIAN

Bab ini menguraikan analisis dan interpretasi hasil pengolahan data eksperimen.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan target pencapaian dari tujuan penelitian dan kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan masalah. Bab ini juga menguraikan saran dan masukan bagi kelanjutan penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Standar Baku Kualitas Air Minum

Standar baku kualitas air minum di Indonesia ditetapkan oleh sebuah Kepmenkes RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002 yang berisi tentang syarat-syarat air layak minum. Peraturan tersebut telah disesuaikan dengan standar yang ditetapkan WHO. Daftar persyaratan kualitas air minum ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Tabel Standar Baku Kualitas Air Minum

PARAMETER	SATUAN	KADAR MAKSIMUM
FISIKA		
Warna	TCU	15
Temperatur	C	temperatur udara 3 °C
Kekeruhan	NTU	5
Rasa dan Bau	-	Tidak berasa dan berbau
KIMIA		
Tembaga	mg/l	1
Nitrat	mg/l	50
Nitrit	mg /l	3
Ammonia	mg /l	1,5
Klorida	mg /l	250
Kesadahan	mg /l	1
Besi	mg /l	0,3
Mangan	mg /l	0,3
pH	mg /l	6,5 - 8,5
Sulfat	mg /l	250

Total Zat Padat terlarut	mg /l	1000
Seng	mg /l	3
Zat Organik	mg /l	5,377
BIOLOGI		
E. Coli	jumlah per 100 ml sampel	0
Total Bakteri Coliform	jumlah per 100 ml sampel	0

Sumber : Departemen Kesehatan Republik Indonesia, 2002

2.2 Pengolahan Air

Pada penelitian ini menggunakan dua jenis metode pengolahan air yaitu *slow sand Filtration* dan adsorbsi.

2.2.1 *Slow Sand Filter*

Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (2008), *Slow sand filter* atau saringan pasir lambat adalah bak saringan yang menggunakan pasir sebagai media filter dengan ukuran butiran sangat kecil, namun mempunyai kandungan kuarsa yang tinggi. Proses penyaringan berlangsung secara gravitasi, sangat lambat, dan simultan pada seluruh permukaan media. Proses penyaringan merupakan kombinasi antara proses fisis (filtrasi, sedimentasi dan adsorbsi), proses biokimia dan proses biologis. Saringan pasir lambat lebih cocok mengolah air baku, yang mempunyai kekeruhan sedang sampai rendah, dan konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) sedang sampai tinggi.

Bagi pasir media yang baru pertama kali dipasang dalam bak saringan memerlukan masa operasi penyaringan awal, secara normal dan terus menerus selama waktu kurang lebih tiga bulan. Tujuan operasi awal adalah untuk mematangkan media pasir penyaring dan membentuk lapisan kulit saringan (*schmutsdecke*), yang kelak akan berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses biokimia dan proses biologis. Selama proses pematangan, kualitas filtrat atau air hasil olahan dari saringan pasir lambat, biasanya belum memenuhi persyaratan air minum.

Ukuran media pasir yang sangat kecil akan membentuk ukuran pori-pori antara butiran media juga sangat kecil. Meskipun ukuran pori-

porinya sangat kecil, ternyata masih belum mampu menahan partikel *koloid* dan bakteri yang ada dalam air baku. Akan tetapi dengan aliran yang berkelok-kelok melalui pori-pori saringan dan juga lapisan kulit saringan, maka gradien kecepatan yang terjadi memberikan kesempatan pada partikel halus, untuk saling berkontak satu sama lain, dan membentuk gugusan yang lebih besar, yang dapat menahan partikel sampai pada kedalaman tertentu, dan menghasilkan filtrat yang memenuhi persyaratan kualitas air minum.

Sejalan dengan proses penyaringan, bahan pencemar dalam air baku akan bertumpuk dan menebal di atas permukaan media pasir. Setelah melampaui periode waktu tertentu, tumpukan tersebut menyebabkan media pasir tidak dapat merembeskan air sebagai mana mestinya, dan bahkan menyebabkan debit *effluent* menjadi sangat kecil, dan air yang ada di dalam bak saringan mengalir melalui saluran pelimpah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa media pasir penyaring sudah mampat (*clogging*). Untuk memulihkan saringan yang mampat, pengelola harus segera mengangkat dan mencuci media pasir menggunakan alat pencuci pasir. Saringan pasir lambat akan beroperasi secara normal kembali, kurang lebih dua hari setelah melakukan pengangkatan atau pencucian media pasir. Petunjuk teknis untuk pemulihan media penyaring dapat dibaca dalam SNI 03-3982-1995, tata cara pengoperasian dan perawatan instalasi saringan pasir lambat.

1. Persyaratan umum

Perencanaan instalasi saringan pasir lambat harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Tersedia air baku yang akan diolah.
- b. Tersedia pengelola instalasi saringan pasir lambat.
- c. Tersedia lahan untuk pembangunan/penempatan instalasi.

2. Persyaratan teknis

Persyaratan teknis memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a. Kecepatan penyaringan 0,1 m/jam sampai dengan 0,4 m/jam.
- b. Luas permukaan bak dihitung dengan rumus :

$$A = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

Q = Debit air baku (m^3/jam)

V = Kecepatan penyaringan (m/jam)

A = Luas permukaan bak (m^2)

- c. Luas permukaan bak (A) = $P \times L$ (2.2)
- d. Panjang bak (P) : lebar bak (L) = (1 sampai dengan 2) : 1
- e. Jumlah bak minimal 2 buah dengan kedalaman bak ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kedalaman saringan pasir lambat

NO	KEDALAMAN	UKURAN (m)
1	Tinggi Bebas	0,20 - 0,30
2	Tinggi air di atas media pasir	1,00 - 1,5
3	Tebal pasir penyaring	0,60 - 1,00
4	Tebal kerikil penahan	0,15 - 0,30
5	Saluran pengumpul bawah	0,10 - 0,20
JUMLAH		2,05 - 3,30

Sumber: Badan Standar Nasional (BSN), 2008

- f. Media penyaring dengan kriteria sebagai berikut :
 - Jenis pasir yang mengandung kadar SiO_2 lebih dari 90 %.
 - Diameter efektif (*effective size - ES*) butiran 0,2 mm - 0,4 mm.
 - Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient - UC*) butiran 2 - 3.
 - Cara menentukan ES dan UC sebagai berikut:

$$\blacksquare ES = P_{10} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\blacksquare UC = \frac{P_{60}}{P_{10}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

ES = Diameter efektif butiran pasir.

UC = Koefisien keseragaman butiran pasir.

P_{60} = butiran pasir efektif terkecil.

P_{10} = butiran pasir efektif terbesar.

- Berat jenis 2,55 gr/cm³ sampai dengan 2,65 gr/cm³.
- Kelarutan pasir dalam air selama 24 jam kurang dari 3,0 % beratnya.
- Kelarutan pasir dalam HCl selama 4 jam kurang dari 3,5 % beratnya.

g. Media Penahan

Jenis kerikil tersusun dengan lapisan teratas butiran kecil dan berurutan ke butiran kasar . Gradasi butir media kerikil dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Gradasi butir media kerikil

NO	DIAMETER RATA - RATA (mm)	KETEBALAN (cm)
1	3 s.d. 4	5 s.d. 10
2	10 s.d. 30	10 s.d. 20
JUMLAH		15 s.d. 30

Sumber: Badan Standar Nasional (BSN), 2008

h. Air baku dengan ketentuan sebagai berikut :

- Kekeruhan 50 mg/Liter SiO₂
- Oksigen terlarut 6 mg/Liter,
- Total koliform 500 MPN per 100 mL.

i. Perlengkapan bak saringan

- Saluran masukan (Inlet).
- Saluran keluaran (Outlet).
- Saluran pengumpul bawah (Underdrain).

3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Filtrasi

Menurut Griswidia (2008), Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada empat yaitu :

a. Ketebalan lapisan media filter

Semakin tebal lapisan media filter, maka luas permukaan penahanan partikel-partikel semakin besar dan jarak yang ditempuh oleh air semakin panjang. Hal ini akan memperpanjang kesempatan media filter untuk memfilter, sedangkan untuk mendapatkan air bersih diperlukan ketebalan filter minimal 70 cm.

b. Temperatur Air

o Pengaruh Temperatur terhadap Kekentalan

Jika temperatur air semakin tinggi, maka kekentalan air akan semakin rendah sehingga gaya gesek air akan lebih cepat melalui celah tersebut dengan demikian akan memperpendek waktu filtrasi. Pengaruh

o Temperatur terhadap Aktivitas Biologi

Temperatur air dapat mempengaruhi kecepatan metabolisme bakteri dalam air, apabila temperatur mencapai optimum untuk perkembangbiakan bakteri, maka bakteri akan bertambah dengan cepat.

o Pengaruh Temperatur terhadap Reaksi Kimia

Apabila temperatur semakin tinggi, maka reaksi kimia akan semakin cepat, sebaliknya apabila temperatur semakin rendah maka reaksi kimia akan semakin lambat. Temperatur yang baik yaitu antara 20-30 °C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.

c. Kecepatan Filtrasi

Kecepatan aliran akan mempengaruhi proses penahanan mekanis terhadap bahan-bahan tersuspensi. Apabila kecepatan filtrasi meningkat efektivitas filtrasi akan menurun.

d. Kualitas Air

Semakin rendah kualitas air yang akan difilter, maka akan semakin memerlukan pengolahan yang sempurna atau kompleks.

2.2.2 Adsorpsi

Menurut Griswidia (2008), adsorpsi adalah proses yang terjadi saat gas dan larutan cair terakumulasi pada permukaan benda keras/cairan (*adsorbent*), membentuk lapisan molekul atau atom (*adsorbat*). Ini berbeda dari absorpsi, dimana substansi tersebar menjadi cairan atau benda padat untuk membentuk larutan. Adsorpsi muncul pada banyak sistem fisika, biologis dan kimiawi dan digunakan secara luas pada aplikasi industri seperti aktivasi arang, resin sintetis dan pemurnian air.

1. *Adsorbent*

Adsorbent yang digunakan biasanya berbentuk butir-butir bulat, batangan, atau monolith berdiameter *hidrodinamic* 0,5 – 10 mm. *adsorbent* harus memiliki ketahanan abrasi yang tinggi, stabilitas terhadap panas dan pori-pori berdiameter kecil yang menghasilkan area permukaan yang lebih luas dan karenanya memiliki kapasitas permukaan yang tinggi untuk adsorpsi. *Adsorbent* juga harus memiliki struktur pori – pori yang berbeda yang memungkinkan perpindahan secara cepat dari uap air.

a. Zeolit ($M_x/n.(AlO_2)_x.(SiO_2)_y.xH_2O$)

Zeolit (*Zeinlithos*) atau berarti juga batuan mendidih, di dalam riset-riset kimiawan *telah* lama menjadi pusat perhatian. Setiap tahunnya, berbagai jurnal penelitian di seluruh dunia, selalu memuat pemanfaatan zeolit untuk berbagai aplikasi, terutama yang diarahkan pada aspek peningkatan efektivitas dan efisiensi proses industri dan pencemaran lingkungan.

Zeolit umumnya didefinisikan sebagai kristal alumina silika yang berstruktur tiga dimensi, yang terbentuk dari tetrahedral alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam, biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Secara empiris, rumus molekul zeolit adalah $M_x/n.(AlO_2)_x.(SiO_2)_y.xH_2O$.

Struktur zeolit sejauh ini diketahui bermacam-macam, tetapi secara garis besar strukturnya terbentuk dari unit bangun primer, berupa tetrahedral yang kemudian menjadi unit bangun sekunder polihedral dan membentuk polihendra dan akhirnya unit struktur zeolit. Zeolit juga ditemukan sebagai bantuan endapan pada bagian tanah jenis basalt dan komposisi kimianya tergantung pada kondisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya.

Hal itu menjadikan zeolit dengan warna dan tekstur yang sama mungkin berbeda komposisi kimianya bila diambil lokasi yang berbeda, disebabkan karena kombinasi mineral yang berupa partikel halus dengan impuritis *lainnya*. Pada dasarnya zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal $M_c/n\{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\}_b H_2O$.

Komposisi zeolit terdiri dari SiO_2 , AlO_3 , CaO , H_2O , MgO , Na_2O , K_2O_3 dan TiO_2 . Mineral zeolit terbentuk dari reaksi antara debu vulkanis dan air garam. Disamping itu ada juga beberapa jenis zeolit yang dihasilkan dari *metamorphe* batuan yang terdapat dilaut. Mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar terdapat di Indonesia seperti di Bayah, Banten, Cikalong, Tasikmalaya, Cikembar, Sukabumi, Nanggung, Bogor dan Lampung dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah. Adapun sifat - sifat zeolit antara lain:

- Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit berpengaruh terhadap sifat adsorbsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam permukaan rongga yang menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan efektif terinteraksi dengan molekul yang diadsorbsi. Jumlah molekul

air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang terbentuk apabila unit sel kristal tersebut dipanaskan

- Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Apabila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 3000 - 4000C maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya.

- Penukar Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini akan bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktivitas katalis.

- Katalis

Ciri khusus zeolit yang secara praktis menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran di dalam struktur. Apabila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas di antara kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori besar dan permukaan yang maksimum.

- Penyaring/ pemisah

Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari campuran tertentu, karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam (berkisar antara 2A-8A tergantung dari jenis zeolit). Volume dan ukuran ruang hampa dalam kisi-kisi

kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring.

b. Karbon aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300-3500 m²/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Karbon aktif dapat mengadsorpsi dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Karbon aktif terdiri dari berbagai mineral yang dibedakan berdasarkan kemampuan adsorpsi (daya serap) dan karakteristiknya. Sumber bahan dan proses yang berbeda akan menghasilkan kualitas karbon aktif yang berbeda. Sumber bahan baku karbon aktif bersal dari kayu, batu bara, tempurung kelapa, lignite.

Karbon aktif berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu antara 300 sampai 2000 m per gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) yang berongga, sehingga mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan. Sifat dari karbon aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan yang digunakan, misalnya, tempurung kelapa menghasilkan arang yang lunak dan cocok untuk menjernihkan air.

Proses adsorbsi terjadi pada bagian permukaan antara padatan-padatan, padatan-cairan, cairan-cairan, atau cairan gas. Adsorbsi dengan bahan padat seperti karbon, tergantung pada luasan permukaannya. Dengan adanya pori-pori mikro antar partikuler yang sangat banyak

jumlahnya pada karbon aktif, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap. Selain itu distribusi ukuran pori merupakan faktor penting dalam menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Misalnya, ukuran 20 angstrom dapat digunakan untuk menghilangkan campuran rasa dan bau, hanya lebih efektif untuk pembersihan gas, sedangkan untuk ukuran 20-100 angstrom efektif untuk menyerap warna.

2. *Faktor* – Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi (Griswidia, 2008) adalah:

- a. Karakteristik fisika dan kimia adsorben, antara lain : luas permukaan ukuran pori, komposisi kimia.
- b. Karakteristik fisis dan kimia air, antara lain : ukuran molekul, polaritas molekul komposisi kimia.
- c. Konsentrasi adsorbat dalam fase cair.
- d. Sistem waktu adsorpsi.

2.3 Desain Eksperimen

Eksperimen merupakan suatu test atau deretan test untuk melihat pengaruh perubahan variabel input dari suatu proses atau sistem terhadap variabel respon atau variabel output yang ingin diamati. Dalam konsep desain eksperimen, eksperimen biasanya dilakukan pada sistem nyata itu sendiri bukan pada model dari sistem. Dengan kata lain, eksperimen untuk mencari nilai variabel respon yang ingin diamati tidak bisa dilakukan dengan menggunakan model matematik seperti dalam simulasi atau optimasi (*operation research*).

Desain Eksperimen merupakan langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar supaya data yang diperoleh membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas (Sudjana, 1985).

2.3.1. Terminologi

Menurut Sudjana (1985), Beberapa istilah atau pengertian yang harus dipahami sebelum mempelajari metode desain eksperimen adalah sebagai berikut :

a. Perlakuan

Perlakuan adalah sekumpulan kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang akan dipilih.

b. Unit Eksperimen

Objek eksperimen (kelinci percobaan) darimana nilai-nilai variabel respon diukur.

c. Replikasi

Pengulangan eksperimen dasar yang bertujuan untuk menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata suatu faktor ataupun terhadap kekeliruan eksperimen.

d. Pengacakan

Merupakan sebuah upaya untuk memenuhi beberapa asumsi yang diambil dalam suatu percobaan. Pengacakan berupaya untuk memenuhi syarat adanya independensi yang sebenarnya hanya memperkecil adanya korelasi antar pengamatan, menghilangkan "bias", dan memenuhi sifat probabilitas dalam pengukuran.

e. Kekeliruan Eksperimen

Merupakan kegagalan daripada dua unit eksperimen identik yang dikenai perlakuan untuk memberi hasil yang sama.

2.3.2. Eksperimen Faktorial (*Factorial Experiment*)

Eksperimen faktorial adalah eksperimen dimana semua (hampir semua) taraf (*levels*) sebuah faktor tertentu dikombinasikan dengan semua (hampir semua) taraf (*levels*) faktor lainnya yang terdapat dalam

eksperimen. (Sudjana, 1985). Skema umum data sampel untuk desain eksperimen dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.4 Skema umum data sampel eksperimen faktorial axb

		Faktor B				Jumlah	Rata-Rata
		1	2	...	b		
Faktor A	1	Y_{111}	Y_{121}	...	Y_{1b1}		
		Y_{112}	Y_{122}	...	Y_{1b2}		
			
		Y_{11n}	Y_{12n}	...	Y_{1bn}		
	Jumlah	J_{110}	J_{120}	...	J_{1b0}	J_{100}	
	Rata-rata	\bar{Y}_{110}	\bar{Y}_{120}		\bar{Y}_{1b0}		\bar{Y}_{100}

	a	Y_{a11}	Y_{a21}	...	Y_{ab1}		
		Y_{a12}	Y_{a22}	...	Y_{ab2}		
			
		Y_{a1n}	Y_{a2n}	...	Y_{abn}		
	Jumlah	J_{a10}	J_{a20}	...	J_{ab0}	J_{a00}	
	Rata-rata	\bar{Y}_{a10}	\bar{Y}_{a20}		\bar{Y}_{ab0}		\bar{Y}_{a00}
	Jumlah besar	J_{010}	J_{020}	...	J_{0b0}	J_{000}	
	Rata-rata Besar	\bar{Y}_{010}	\bar{Y}_{020}		\bar{Y}_{0b0}		\bar{Y}_{000}

Sumber : Sudjana, 1985

Adapun model anova yang digunakan untuk pengujian data eksperimen yang menggunakan dua faktor adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{k(ij)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$i = 1, 2, \dots, a$

$j = 1, 2, \dots, b$, dan $k = 1, 2, \dots, n$ (replikasi)

Y_{ijk} = variabel respon karena pengaruh bersama taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B yang terdapat pada observasi ke-k

μ = efek rata-rata yang sebenarnya (berharga konstan)

A_i = efek sebenarnya dari taraf ke-i faktor A

B_j = efek sebenarnya dari taraf ke-j faktor B

AB_{ij} = efek sebenarnya dari interaksi taraf ke-i faktor A dengan taraf ke-j faktor B

$\epsilon_{k(ij)}$ = efek sebenarnya dari unit eksperimen ke-k dalam kombinasi perlakuan (ij)

Berdasarkan model persamaan (2.1), maka untuk keperluan anova perlu dihitung harga-harga sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sum Y^2 &= \text{Jumlah kuadrat seluruh pengamatan} \\ &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{i00} &= \text{Jumlah nilai pengamatan yang terdapat dalam taraf ke-i faktor A} \\ &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{0j0} &= \text{Jumlah nilai pengamatan yang terdapat dalam taraf ke-j faktor B} \\ &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{ij0} &= \text{Jumlah nilai pengamatan yang terdapat dalam taraf ke-i faktor A} \\ &\quad \text{dan taraf ke-j faktor B} \\ &= \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \dots\dots\dots (2.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{000} &= \text{Jumlah nilai semua pengamatan} \\ &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (2.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_y &= \text{Faktor Koreksi} \\ &= J_{000}^2 / abn \dots\dots\dots (2.11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_y &= \text{Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk semua taraf faktor A} \\ &= bn \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_{i00} - \bar{Y}_{000})^2 = \sum_{i=1}^a (J_{i00}^2 / bn) - R_y \dots\dots\dots (2.12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_y &= \text{Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) untuk semua taraf faktor B} \\ &= an \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{j00} - \bar{Y}_{000})^2 = \sum_{j=1}^b (J_{j00}^2 / an) - R_y \dots\dots\dots (2.13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{ab} &= \text{Jumlah kuadrat-kuadrat (JK) antarsel untuk daftar a x b} \\ &= n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{ij0} - \bar{Y}_{000})^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (J_{ij0}^2 / n) - R_y \dots\dots\dots (2.14) \end{aligned}$$

$$AB_y = \text{Jumlah kuadrat-kuadrat untuk interaksi antara faktor A dan faktor B}$$

$$= n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{ij0} - \bar{Y}_{i00} - \bar{Y}_{0j0} + \bar{Y}_{000})^2 = J_{ab} - A_y - B_y \dots\dots\dots (2.15)$$

$$E_y = \text{Error}$$

$$= \sum Y^2 - R_y - A_y - B_y - AB_y \dots\dots\dots (2.16)$$

Tabel anova untuk eksperimen faktorial yang menggunakan dua faktor (*a* dan *b*), dengan nilai-nilai perhitungan dalam bentuk diatas adalah sebagaimana Tabel 2.2 di bawah ini. Pada kolom terakhir Tabel 2.4, untuk menghitung harga *F* yang digunakan sebagai alat pengujian statistik, maka perlu diketahui model mana yang diambil. Model yang dimaksud ditentukan oleh sifat tiap faktor, apakah tetap atau acak. Model tetap menunjukkan di dalam eksperimen terdapat hanya *m* buah perlakuan, sedangkan model acak menunjukkan bahwa dilakukan pengambilan *m* buah perlakuan secara acak dari populasi yang ada.

Tabel 2.4 Anova eksperimen 2 faktor desain acak sempurna

Sumber Variansi	Derajat Bebas (df)	Jumlah Kuadrat (SS)	Kuadrat Tengah (MS)	<i>F</i>
Faktor A	<i>a</i> - 1	SS _A	SS _A /df _A	MS _A /MS _E
Faktor B	<i>b</i> - 1	SS _B	SS _B /df _B	MS _B /MS _E
Interaksi A x B	(<i>a</i> - 1)(<i>b</i> - 1)	SS _{AxB}	SS _{AxB} /df _{AxB}	MS _{AxB} /MS _E
Error	<i>ab</i> (<i>n</i> - 1)	SS _E	SS _E /df _E	
Total	<i>abn</i>	SS _{Total}		

Sumber : Sudjana, 1985

2.3.3. Pengujian Asumsi-Asumsi Anova

Apabila menggunakan analisis variansi sebagai alat analisa data eksperimen, maka seharusnya sebelum dilakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi-asumsi anova berupa uji normalitas, homogenitas variansi, dan independensi terhadap data hasil eksperimen (Sudjana, 1985).

a. Uji Normalitas

Untuk memeriksa apakah populasi berdistribusi normal atau tidak, dapat ditempuh uji normalitas dengan menggunakan metode lilliefors. Uji

Lilliefors adalah uji kenormalan non parametrik. Misalkan kita mempunyai sampel acak dengan hasil pengamatan x_1, x_2, \dots, x_n . Berdasarkan sampel ini akan diuji hipotesis nol bahwa sampel tersebut berasal dari populasi berdistribusi normal melawan hipotesis tandingan bahwa distribusi tidak normal (Sudjana, 2002). Langkah-langkah perhitungan uji *lilliefors* adalah sebagai berikut :

- Urutkan data dari yang terkecil sampai terbesar.
- Hitung rata-rata (\bar{x}) dan standar deviasi (s) data tersebut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$s = \sqrt{\frac{x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}} \dots\dots\dots (2.18)$$

- Transformasikan data tersebut menjadi nilai baku (z).

$$z_i = (x_i - \bar{x})/s \quad (2.19)$$

- Dari nilai baku (z), tentukan nilai probabilitasnya $P(z)$ berdasarkan sebaran normal baku, sebagai probabilitas pengamatan. Gunakan tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal, atau dengan bantuan Ms. Excel dengan *function* NORMSDIST.
- Tentukan nilai probabilitas harapan kumulatif $P(x)$ dengan rumus sebagai berikut :

$$P(x_i) = i / n \dots\dots\dots (2.20)$$

- Tentukan nilai maksimum dari selisih absolut $P(z)$ dan $P(x)$ sebagai nilai Lhitung yaitu:

$$\text{maks } |P(z) - P(x)| \dots\dots\dots (2.21)$$

- Tentukan nilai maksimum dari selisih absolut $P(x_{i-1})$ dan $P(z)$ yaitu

$$\text{maks } |P(x_{i-1}) - P(z)| \dots\dots\dots (2.22)$$

- Menganalisis apakah data observasi dalam beberapa kali replikasi berdistribusi normal. Hipotesis yang diajukan adalah :

H_0 : data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

H_1 : data observasi berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal.

Taraf nyata yang dipilih $\alpha = 0.01$, dengan wilayah kritik $L_{hitung} > L_{\alpha(k-1)}$. Apabila nilai $L_{hitung} < L_{tabel}$, maka terima H_0 dan simpulkan bahwa data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan menguji apakah variansi error dari tiap level atau perlakuan bernilai sama. Alat uji yang sering dipakai adalah uji *Bartlett*. Namun, uji *Bartlett* dapat dilakukan setelah uji normalitas terlampaui. Untuk menghindari adanya kesulitan dalam urutan proses pengolahan, maka alat uji yang dipilih adalah uji *Levene*. Uji *Levene* dilakukan dengan menggunakan analisis ragam terhadap selisih absolut dari setiap nilai pengamatan dalam sampel dengan rata-rata sampel yang bersangkutan. Prosedur uji homogenitas *Levene* adalah:

- Kelompokkan data berdasarkan faktor yang akan diuji.
- Hitung selisih absolut nilai pengamatan terhadap rata-ratanya pada tiap level.
- Hitung nilai-nilai berikut ini :

- Faktor koreksi (FK) = $\left(\sum x_i\right)^2 / n$ (2.23)

Dimana x_i = data hasil pengamatan

$i = 1, 2, \dots, n$ (n banyaknya data)

- JK –Faktor = $\left(\left(\sum x_i^2\right)/k\right) - FK$ (2.24)

Dimana k = banyaknya data pada tiap level

- JK – Total(JKT) = $\left(\sum y_i^2\right) - FK$ (2.25)

Dimana y_i = selisih absolut data hasil pengamatan dengan rata-ratanya untuk tiap level

- JK-Error (JKE) = JKT – JK (Faktor) (2.26)

- Hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

H_1 : Ragam seluruh level faktor tidak semuanya sama

- Taraf nyata yang dipilih adalah $\alpha = 0.01$
- Wilayah kritik : $F > F_{\alpha}(v_1 ; v_2)$ atau $F > F_{0.01}(1;46)$

c. Uji Independensi

Salah satu upaya mencapai sifat independen adalah dengan melakukan pengacakan terhadap observasi. Namun demikian, jika masalah acak ini diragukan maka dapat dilakukan pengujian dengan cara melakukan plot residual versus urutan pengambilan observasinya. Hasil plot tersebut akan memperlihatkan ada tidaknya pola tertentu. Jika ada pola tertentu, berarti ada korelasi antar residual atau error tidak independen. Apabila hal tersebut terjadi, berarti pengacakan urutan eksperimen tidak benar (eksperimen tidak terurut secara acak).

2.4 Principle Component Analysis

Untuk masalah multirespon, PCA dapat dianggap sebagai alat yang efektif dalam mencari sejumlah kecil komponen (misalnya K) yang memperhitungkan semua variansi dalam p *original response* yang ditulis $k < p$ dimana X_1, X_2, \dots, X_p adalah himpunan respon, kemudian dengan menggunakan PCA didapatkan *uncorellated linear combination* dari *principal component* sebagai berikut:

$$Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana $Z_1 = \text{Principal Component Pertama}$ dan $a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1$.

Principle Component diurutkan sehingga *principal component* pertama memperhitungkan semua variansi dalam data, *principal component* kedua lebih sedikit dan seterusnya. Semua *principal component* tidak berhubungan satu sama lain. Variansi dari *principal component* disebut *eigenvalues* dan perlu dicatat bahwa jumlah dari variansi *principal component* sama dengan jumlah variansi respon. Koefisien dari *principal*

component ($a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p}$) disebut *eigenvectors*. Peraturan empirisnya adalah untuk memilih komponen - komponen dengan *eigenvalues* yang lebih besar atau sama dengan satu. (Anthony, 2000). Prosedur metode ini digambarkan sebagai berikut :

1. *The original multi-response array,*

$$x_i(j), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & \dots & x_2(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_m(1) & x_m(2) & \dots & \dots & x_m(n) \end{bmatrix}$$

Dimana:

m = jumlah tes percobaan

n = jumlah respon

X = nilai rata - rata dari setiap respon

2. Normalisasi Respon,

Respon-respon yang ada dinormalisasikan menggunakan formula berikut :

$$X_{ij}^* = \frac{x_i(j) - x_i(j)^-}{x_i(j)^+ - x_i(j)^-} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$X^* = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \dots & \dots & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \dots & \dots & x_2^*(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_m^*(1) & x_m^*(2) & \dots & \dots & x_m^*(n) \end{bmatrix}$$

Dimana:

$x_{i(j)}^* = \text{respon normal.}$

$x_{i(j)}^+ = \text{maksimum dari } x_i(j)$

$x_{i(j)}^- = \text{minimum dari } x_i(j)$

3. Correlation coefficient array,

Correlation coefficient array dari matrik respon normal yang dievaluasi sebagai berikut :

$$R_{jl} = \left(\frac{\text{Cov}(x_i^*(j), x_i^*(l))}{\sigma_{x_i^*(j)} \sigma_{x_i^*(l)}} \right) \dots\dots\dots (2.28)$$

$$j = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, n$$

Dimana :

$\text{Cov}(x_{i(j)}^*, x_{i(l)}^*) = \text{kovarian dari susunan } x_{i(j)}^* \text{ dan } x_{i(l)}^*$

$\sigma_{x_{i(j)}^*} = \text{standard deviasi dari susunan } x_{i(j)}^*$

$\sigma_{x_{i(l)}^*} = \text{standard deviasi dari susunan } x_{i(l)}^*$

4. Menentukan *eigenvalues* dan *eigenvectors*,

Eigenvalue dan *eigenvector* ditentukan dari matrik koefisien korelasi.

$$(R - \lambda k I_m) V_k = 0 \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana λk merupakan *eigenvalues*,

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = n, \quad k = 1, 2, \dots, n;$$

$V_{ik} = [ak1ak2 \dots akn]^T$ merupakan *eigenvector* korespondensi pada *eigenvalue* λ_k .

5. Evaluasi *principal component*,

Terdapat unkorrelasi *principal component* sebagai berikut :

$$Y_{mk} = \sum_{i=1}^n x_m^*(i) \cdot V_{ik} \dots\dots\dots (2.30)$$

Principal components timbul dengan tujuan untuk mengurangi variansi dan oleh sebab itu, *principal component* yang pertama, Y_{m1} , dihitung untuk variansi terbanyak yang terdapat dalam data. Berdasarkan pada pembelajaran *Kaiser*, komponen dengan *eigenvalue* lebih besar dari pada salah satu yang terpilih untuk mengganti respon-respon yang sesungguhnya untuk analisis lebih lanjut.

6. Nilai Optimasi (Z),

Kondisi optimal adalah salah hasil dari nilai optimasi (Z) yang maksimal. Nilai Z pada setiap level faktor dihitung dan kemudian digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh antar faktor atau interaksi yang signifikan terhadap perhitungan *multirespon*. Nilai Z dihitung dengan rumus :

$$Z = EV_{ct} * VR_1 + EV_{ct} * VR_2 \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan :

Z = nilai optimal

EV_{ct} = nilai *eigenvector* setiap variabel respon

VR_j = nilai variabel respon ke j

2.5 PENELITIAN SEBELUMNYA

Penelitian mengenai media penjernih air ini didukung oleh beberapa penelitian sebelumnya, baik yang dicapai oleh peneliti dalam negeri

maupun penelitian yang dicapai dari luar negeri untuk penelitian dengan kajian yang sama.

Menurut Clean Washington Center (1995), Sistem filtrasi lambat merupakan satu alternatif bagi saringan pasir cepat yang konvensional dalam pre treatment pada air minum masyarakat. Sistem ini relatif mudah dibuat dan dirawat tetapi memerlukan banyak media filter. Media tradisional filtrasi lambat adalah pasir, tetapi penelitian ini menyarankan bahwa CRG dapat menjadi media yang efektif pada sistem filtrasi lambat.

Menurut Rahman (2004) zeolit Bayah cukup efektif mengurangi Fe dan Mn dalam air tanah, meskipun kapasitas penurunan untuk Mn lebih baik dari pada Fe, sedangkan kolom zeolit belum bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari karena debitnya masih rendah.

Menurut Rahayu (2004), Penggunaan arang tempurung kelapa dapat memperbaiki kualitas air sumur secara kimiawi. Penggunaan arang tempurung kelapa menurunkan kadar mangan dan besi paling efektif adalah perlakuan selama 30 menit pertama

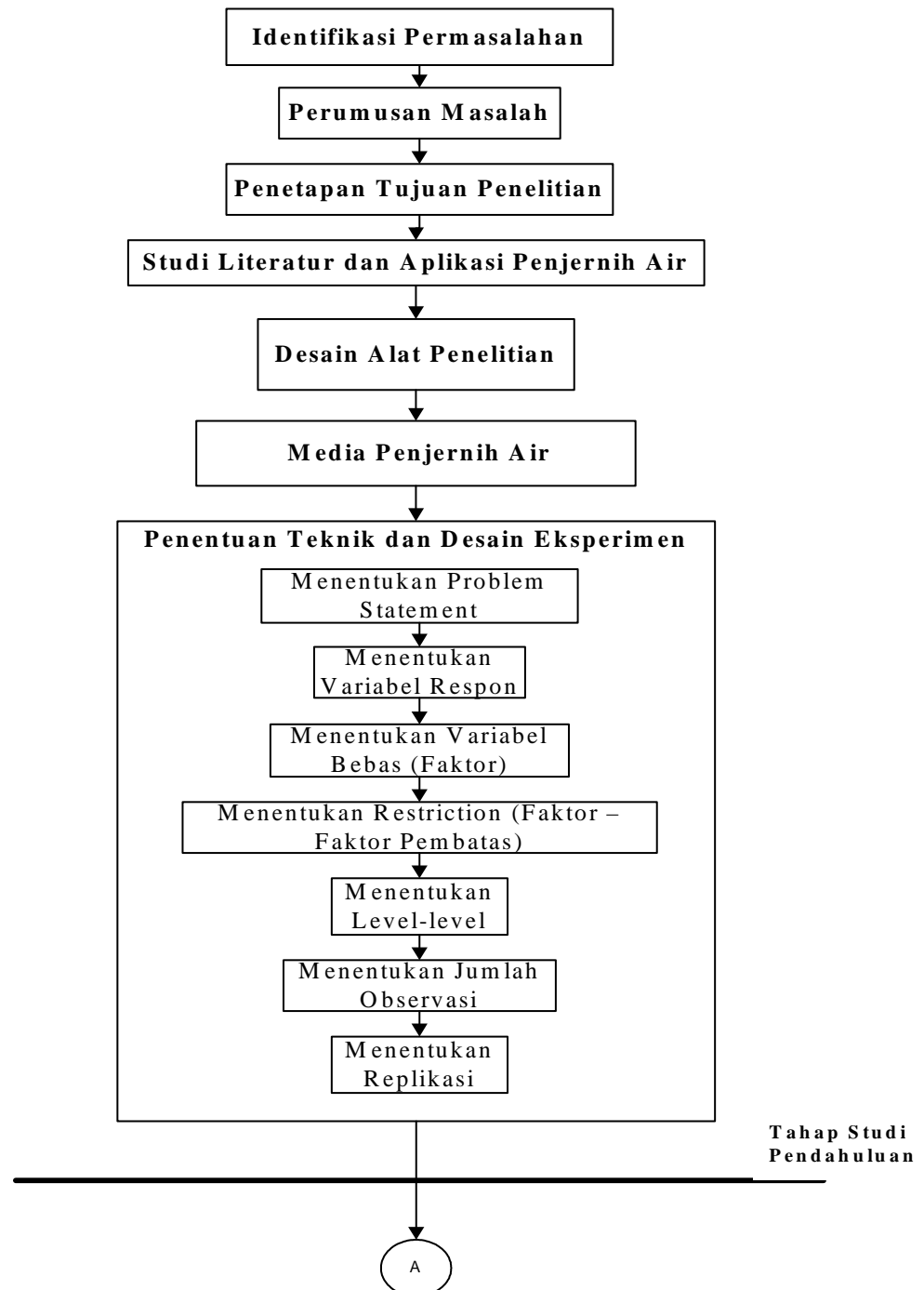
Menurut M. Ridwan (2005), kombinasi pasir-zeolit kandungan Fe sebesar 0,007 mg/l, kombinasi pasir-karbon aktif sebesar 0,08 mg/l, kombinasi zeolit-karbon aktif sebesar 0,10 mg/l, kontrol sebesar 1,08 mg/l. Setelah itu dihitung efektivitasnya hasilnya kombinasi pasir-zeolit sebesar 93,52 %, kombinasi pasir-karbon aktif sebesar 92,57 %, dan kombinasi zeolit-karbon aktif sebesar 90,73 %. Hasil uji Anova satu jalan nilai signifikan untuk Fe nilai (p) $0,320 > 0,05$ sehingga tidak ada perbedaan efektivitas kombinasi filter terhadap penurunan kadar Fe.

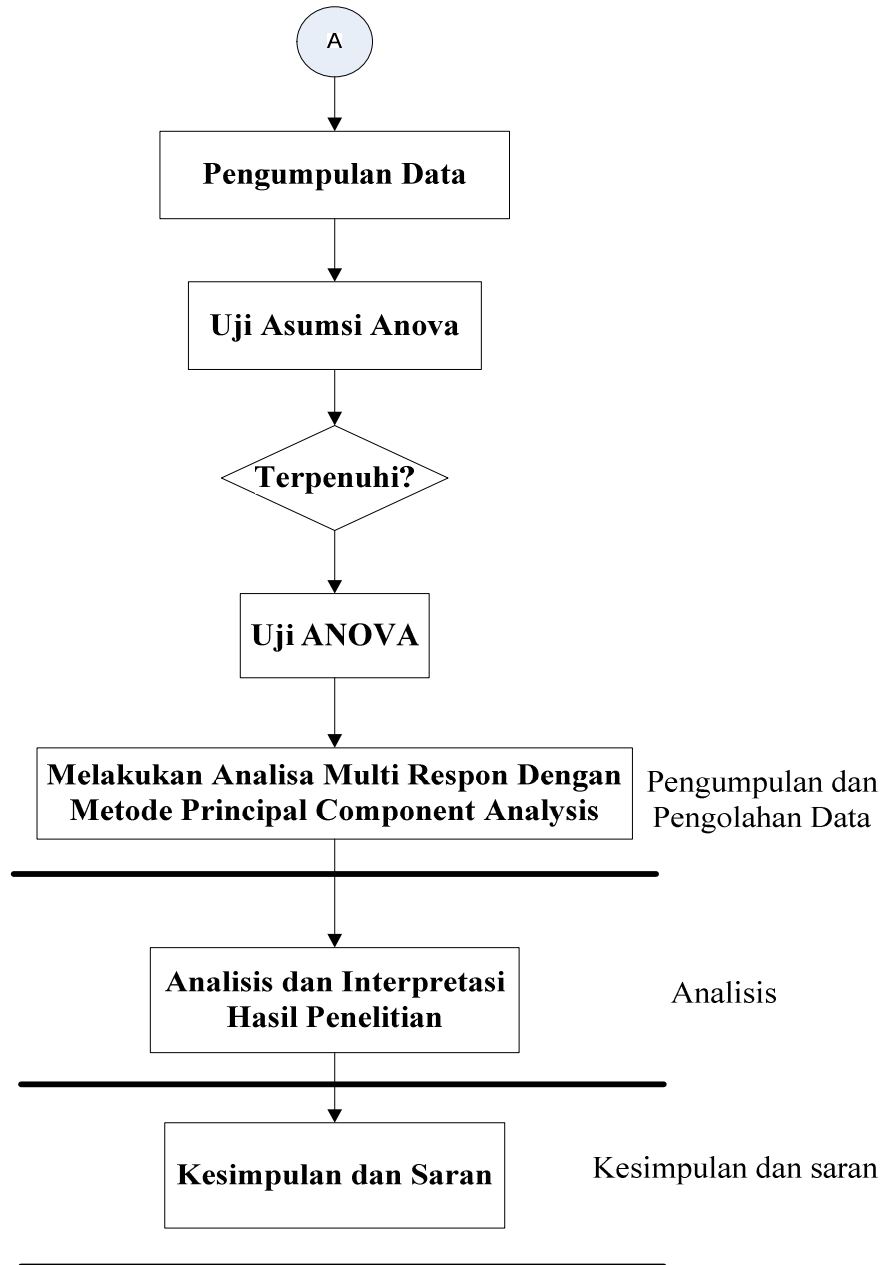
Menurut Griswidia (2008), Teknologi *Biosand Filter-Activated Carbon* merupakan kombinasi teknologi tepat guna yang efektif dalam mengolah air permukaan. Berdasarkan hasil penelitian, perbedaan ketinggian media begitu signifikan mempengaruhi penurunan konsentrasi Minyak Lemak dalam air Proses limbah laundry dan hal tersebut juga didukung dengan hasil uji ANOVA.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian beserta penjelasan singkat setiap tahapannya.





Gambar 3.1. Metodologi Penelitian

3.1. Studi Pendahuluan dan Identifikasi Permasalahan

Studi pendahuluan dilakukan untuk mengetahui gambaran permasalahan yang ada di lapangan dan selanjutnya akan diangkat menjadi pokok penelitian. Pada penelitian mengenai penentuan setting level optimal media penjernih air ini, dilakukan kajian terhadap kondisi air sumur di Desa Tasikmadu Kecamatan Pituruh Kabupaten Purworejo.

Berdasarkan hasil pengamatan dan data dari kantor desa Kecamatan Tasikmadu kualitas air sumur di Desa Tasikmadu sangat rendah padahal instalasi air minum PDAM belum sampai ke daerah tersebut. Berdasarkan kondisi ini, penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas air di desa tersebut. perlu dipikirkan suatu teknologi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut dengan biaya yang terjangkau masyarakat. Menurut Standar Nasional Indonesia 3981:2008, Saringan Pasir lambat sangat cocok digunakan untuk mengolah air baku yang mempunyai kekeruhan sedang sampai rendah. Sedangkan menurut *Clean Washington Center* (2002), *crushed recycle glass* dapat digunakan sebagai media yang efektif dalam saringan pasir lambat. Menurut Tuti Rahayu (2004), Penggunaan Arang tempurung kelapa dapat memperbaiki kualitas air sumur secara kemis. Sedangkan menurut Sedangkan menurut Abdur Rahman (2004), Zeolit cukup efektif menurunkan kandungan Fe. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan dua buah reaktor yaitu reaktor saringan pasir lambat (filtrasi) dan reaktor adsorpsi agar didapatkan air yang jernih dan mempunyai kandungan Fe dibawah NAB. Untuk mengetahui efektifitas dan pengaruh reaktor serta media - medianya dalam mengurangi kekeruhan dan menurunkan kadar Fe, pada penelitian ini digunakan eksperimen *full factorial*.

3.2. Perumusan Masalah

Setelah dilakukan identifikasi permasalahan awal, diketahui pentingnya alat penjernih air. Berdasarkan hasil pengamatan langsung di Desa Tasikmadu tentang penggunaan alat penjernih air saat ini masih belum mampu mengakomodasi kebutuhan masyarakat. Kualitas air hasil filtrasi belum memenuhi standar kesehatan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan alternatif media dan kemudian memilih kombinasi media terbaik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air. Untuk itu, perlu diketahui perbedaan kemampuan kombinasi

reaktor dalam menurunkan kekeruhan, kandungan Fe dan kedua karakteristik kualitas tersebut secara simultan.

3.3. Penetapan Tujuan Penelitian

Melalui tujuan penelitian dapat ditemukan arah serta sasaran yang ingin dicapai dalam suatu penelitian. Tujuan penelitian ini adalah menentukan media terbaik yang dapat digunakan untuk menurunkan kekeruhan dan kandungan Fe.

3.4. Studi Literatur dan Aplikasi Penjernih Air

Studi literatur terhadap perkembangan alat penjernih air dilakukan dengan cara mengkaji beberapa jurnal baik dari dalam maupun dari luar negeri terutama terhadap alternatif – alternatif media yang mampu meningkatkan kualitas air.

Sedangkan studi aplikatif alat penjernih air dilakukan dengan tiga cara yaitu melalui observasi lapangan, wawancara dengan Dinas Kesehatan Kabupaten Purworejo dan studi literatur tentang pembuatan alat – alat penjernih air.

3.5. Desain Alat Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan dua buah reaktor yaitu :

1. Reaktor Filtrasi

Desain alat penelitian ini mengacu pada Persyaratan Teknis Perencanaan Instalasi Saringan Pasir Lambat Standar Nasional Indonesia (SNI). Dimensi reaktor filtrasi pada penelitian ini yaitu:

- a. Panjang reaktor : 30 cm
- b. Lebar reaktor : 30 cm
- c. Tinggi unit

Tabel 3.1. Kedalaman Reaktor Filtrasi

No	Kedalaman	Ukuran
----	-----------	--------

1.	Tebal pasir	60 cm
2.	Tebal kerikil penahan	15 cm
3	Tinggi air di atas pasir	5 cm
3	Saluran pengumpul bawah	10 cm
4	Tinggi bebas	20 cm
Total		100 cm

2. Reaktor Adsorpsi

Untuk menurunkan kadar besi dalam air, pada penelitian ini menggunakan reaktor adsorpsi. Desain reaktor adsorpsi mengacu pada penelitian sebelumnya (Griswidia, 2008). Dimensi reaktor adsorpsi pada penelitian ini yaitu:

- a. Panjang : 15 cm
- b. Lebar : 15 cm
- c. Tinggi : 70 cm

3.6. Persiapan Media Penjernih Air

Penelitian ini menggunakan dua jenis reaktor filtrasi yaitu reaktor filtrasi pasir (*sand filter*) dan *crushed recycle glass filter*. Untuk menghasilkan media yang bersih dan steril, media dicuci dan dioven pada suhu 105 ° C selama 2 jam (Griswidia, 2008).

Penelitian ini menggunakan dua jenis reaktor adsorpsi yaitu reaktor adsorpsi karbon aktif dan reaktor adsorpsi zeolit. Aktivasi karbon dilaksanakan dengan cara merendamnya pada larutan garam selama 48 jam, kemudian dipanaskan dalam oven pada temperatur 105⁰ C, selama kurang lebih 20 jam (Nugroho, 2008).

3.7. Penentuan Teknik dan Desain Eksperimen

Penelitian ini menggunakan tiga buah faktor dengan masing - masing menggunakan 2 buah level. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan desain eksperimen 2².

a. Problem Statement

Unit Eksperimen adalah air hasil olahan reaktor filtrasi dan adsorpsi. Reaktor filtrasi yang akan diuji ada dua, yaitu pasir biasa (seperti yang digunakan oleh warga Desa Tasikmadu) dan *crushed recycle glass*. Sedangkan reaktor adsorpsi yang akan diuji yaitu *activated carbon* dan zeolit. Masalah yang akan diuji adalah perbedaan yang signifikan antara kombinasi dari kedua reaktor tersebut. Eksperimen ini akan menguji signifikansi efisiensi kombinasi kedua reaktor tersebut terhadap tingkat kekeruhan (*turbidity*) dan Kandungan Fe dalam air.

b. Variabel Respon.

Variabel respon penelitian ini adalah :

- Tingkat kekeruhan.
- Kandungan Fe dalam air.

c. Variabel Bebas (Faktor).

Variabel bebas penelitian ini adalah :

- Jenis media filtrasi.
- Jenis media absorpsi.

d. *Restriction* (Faktor – Faktor Pembatas)

Restriction adalah faktor – faktor yang mungkin mempengaruhi variabel respon tetapi tidak ingin diuji pengaruhnya oleh eksperimenter karena tidak termasuk dalam tujuan studi.

Faktor – faktor pembatas pada penelitian ini antara lain:

- Ketebalan lapisan media filter.
- Suhu air.
- Kecepatan filtrasi.
- Kualitas air.
- Ukuran butir adsorben..
- pH larutan.
- Waktu adsorpsi.
- Konsentrasi .
- Jumlah adsorben.

Agar faktor – faktor tersebut mempunyai pengaruh yang sama pada setiap perlakuan, maka faktor – faktor tersebut diusahakan sama dengan jalan:

- Untuk faktor pembatas: suhu air, kualitas air, pH larutan konsentrasi diusahakan sama dengan jalan pengambilan sampel air dari satu sumber sehingga karakteristik sampel air sama.
- Ketebalan media filtrasi dibuat sama yaitu 60 cm.
- Kecepatan filtrasi dibuat sama dengan jalan mengatur debit air dan luas permukaan reaktor filtrasi. Ukuran butir adsorben dibuat sama dengan jalan melakukan penyakan dengan ukuran 1 – 3 mm.
- Waktu adsorpsi dibuat sama dengan jalan pengambilan sampel air yang akan diuji dilaksanakan dalam waktu yang bersamaan.
- Jumlah adsorben dibuat sama dengan jalan ukuran partikel dan volume adsorben dibuat sama.

e. Level-level

Level penelitian ini adalah :

- Pada Reaktor penyaring (A) : menggunakan dua level yaitu Pasir (A1) dan Crushed Recycle Glass (A2)
- Pada Reaktor adsorpsi (B): menggunakan dua level yaitu Karbon Aktif (B1) dan zeolit (B2).

f. Jumlah Observasi: 20

g. Replikasi : 5 kali

3.8. Pengujian Kualitas Air (Pengumpulan Data)

Pengujian kualitas air dilakukan oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan (BBTKL) Yogyakarta. Pengujian Kekeruhan dengan metode uji SNI 06 – 6989.25 – 2005 dan pengujian Fe dengan metode uji APHA 2005, *section* 3120 B.

3.9. Uji Asumsi Anova

1. Uji kenormalan dengan metode *Lilliefors*

Uji normalitas dilakukan terhadap keseluruhan data hasil pengujian laboratorium terhadap air sumur, dengan tujuan untuk mengetahui apakah data hasil pengujian tersebut berdistribusi secara normal.

2. Uji homogenitas dengan *levane test*

Uji homogenitas dilakukan secara berpasangan antara hasil pengujian laboratorium terhadap kekeruhan dan kandungan Fe pada air dengan masing-masing faktor (reaktor Filtrasi dan Adsorpsi). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat apakah variansi *error* tiap faktor perlakuan dari data adalah sama atau data hasil eksperimen berdistribusi homogen terhadap masing-masing faktor. Uji *levane* dilakukan dengan menggunakan analisis ragam terhadap selisih absolut dari setiap nilai pengamatan dalam sampel dengan rata-rata sampel yang bersangkutan.

3. Uji Independensi

Uji independensi dalam penelitian ini menggunakan plot residual data hasil pengujian laboratorium pada air sumur terhadap urutan eksperimen (urutan pengambilan data).

3.10. Uji ANOVA

Uji signifikansi perbedaan kombinasi yang terbentuk dalam penelitian ini merupakan tahap analisis dalam desain eksperimen. Pengujian ini menggunakan metode *Analysis of Variance* dengan dua faktor. Rumus ANOVA untuk desain faktorial dengan dua faktor dengan n observasi tiap kondisi eksperimen adalah seperti Tabel 3.2

Tabel 3.2 ANOVA untuk Faktorial dua faktor

Sumber Variasi	df	SS	MS
Faktor A_i	$a - 1$	$\sum_i \frac{T_{i...}^2}{nb} - \frac{T_{....}^2}{nab}$	Setiap SS dibagi oleh df masing-masing
Faktor B_j	$b - 1$	$\sum_j \frac{T_{.j..}^2}{na} - \frac{T_{....}^2}{nab}$	
$A \times B$ interaction	$(a - 1)(b - 1)$	$\sum_i \sum_j \frac{T_{ijk.}^2}{n} - \sum_i \frac{T_{i...}^2}{nb} - \sum_j \frac{T_{.j..}^2}{na} + \frac{T_{....}^2}{nab}$	
Error	$ab(n - 1)$	$\sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk}^2 - \sum_i \sum_j \frac{T_{ij.}^2}{n}$	
Total	$abn - 1$	$\sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk}^2 - \frac{T_{....}^2}{nab}$	

Sumber : Sudjana, 1985

Selanjutnya akan diuji apakah variasi yang disebabkan oleh perbedaan sistem lampu neon tersebut sama besarnya dengan variasi yang disebabkan oleh random error. Jika Tidak, maka H_0 ditolak, dan jika ya, maka H_0 diterima. Statistik uji yang digunakan adalah :

$$F_{df_1, df_2} = \frac{MS_{treatment}}{MS_{error}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana,

df_1 : *degree of freedom* (derajat kebebasan) *treatment*

df_2 : *degree of freedom* (derajat kebebasan) *error*

MS : *Mean Square* (kuadrat tengah)

Berdasarkan tabel distribusi F akan diperoleh F_{tabel} , dan apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima, sedangkan apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak. Pada tahap ini apabila terjadi perbedaan yang signifikan dari kombinasi yang ada, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji setelah ANOVA.

3.11. Analisa Multirespon

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui setting level optimal media filtrasi dan adsorpsi terhadap kandungan Fe dan *turbidity* secara simultan dengan metode *Principal Component Analysis*.

3.12. Analisis dan Interpretasi Hasil Penelitian

Pada tahap ini akan dilakukan analisis dan interpretasi hasil penelitian untuk memberikan gambaran secara menyeluruh sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan jenis media filtrasi dan adsorpsi yang dipilih.

3.13. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan bagian akhir dari penelitian yang membahas kesimpulan dari hasil yang diperoleh serta usulan atau rekomendasi untuk implementasi lebih lanjut dan bagi penelitian selanjutnya.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data

4.1.1. Desain Alat Penelitian.

Pada Penelitian ini menggunakan dua buah reaktor untuk menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan Fe, yaitu :

1. Reaktor Filtrasi

Desain alat penelitian ini secara umum mengacu pada Persyaratan Teknis Perencanaan Instalasi Saringan Pasir Lambat Standar Nasional Indonesia (SNI). Spesifikasi reaktor filtrasi pada penelitian ini yaitu:

- d. Panjang reaktor : 30 cm
- e. Lebar reaktor : 30 cm
- f. Tinggi unit : 110 cm

Berdasarkan tabel 3.1, diketahui bahwa reaktor filtrasi berukuran panjang 30 cm, lebar 30 cm dan ketinggian 110 cm. Ketinggian pasir 60 cm, tebal kerikil penahan 15 cm, tinggi air di atas pasir 5 cm, saluran pengumpul 10 cm dan tinggi bebas 20 cm. Gambar reaktor filtrasi ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Reaktor Filtrasi

Penelitian ini menggunakan dua buah reaktor filtrasi yang dibedakan berdasarkan jenis media utamanya yaitu pasir dan CRG.

2. Reaktor Adsorpsi

Untuk menurunkan kadar besi dalam air, penelitian ini menggunakan reaktor adsorpsi. Desain reaktor adsorpsi mengacu pada penelitian sebelumnya (Griswidia, 2008). Spesifikasi reaktor adsorpsi pada penelitian ini yaitu:

- d. Panjang : 15 cm
- e. Lebar : 15 cm
- f. Tinggi : 100 cm

a. Kedalaman Reaktor Adsorpsi

No	Kedalaman	Ukuran
1.	Tebal media	70 cm
2	Tinggi bebas	30 cm
Total		100 cm

Berdasarkan tabel 4.1, diketahui bahwa reaktor adsorpsi berukuran panjang 15 cm, lebar 15 cm dan ketinggian 100 cm. Tebal media 70 cm dan tinggi bebas 30 cm. Gambar reaktor filtrasi ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Reaktor Adsorpsi

Penelitian ini menggunakan empat buah reaktor adsorpsi dengan dua jenis media yang berbeda yaitu karbon aktif dan zeolit.

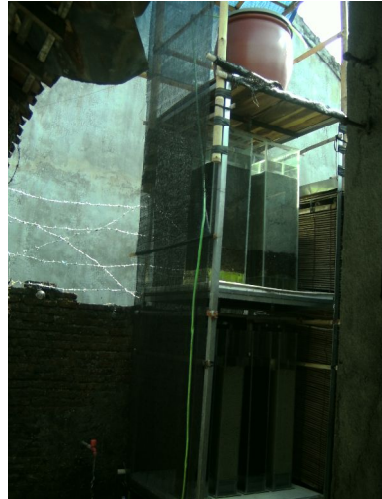
Dua buah reaktor adsorpsi dihubungkan dengan sebuah reaktor filtrasi dengan harapan agar dapat menurunkan kadar besi dalam air.

3. *Reservoir*



Gambar 4.3. *Reservoir*

Reservoir yang digunakan untuk menampung air sumur sebanyak satu buah yang memiliki volume 150 liter. *Reservoir* diletakkan di atas menara air sebagai tempat penyimpanan air. Gambar *reservoir* ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.4. Reaktor Penjernih Air

Kedua reaktor dan reservoir dihubungkan menjadi satu rangkaian alat. Gambar rangkaian reaktor ditunjukkan pada gambar 4.4.

4.1.2. Media Penjernih Air

Penelitian ini menggunakan dua jenis media penjernih air yaitu media filtrasi dan media adsorpsi.

1. Media Filtrasi.

Penelitian ini menggunakan dua jenis media filtrasi yaitu pasir dan *Crushed Recycle Glass (CRG)*.

a. Pasir

Media ini diambil dari penambangan pasir di Brosot Yogyakarta. Untuk menghasilkan media yang bersih dan steril, media dicuci dan dioven pada suhu 105°C selama 2 jam (Griswidia, 2008).



Gambar 4.5. Pencucian Pasir

Proses pencucian pasir dilakukan dengan air bersih. Pencucian dilakukan sampai kotoran yang menyertai pasir dapat dipisahkan. Proses pencucian ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.6. Pengovenan Pasir.

Setelah pasir dicuci, pasir dioven selama dua jam. Proses pengovenan dilakukan terhadap semua pasir yang akan digunakan agar steril. Proses pengovenan ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.7. Pasir Siap Pakai

Setelah pasir dicuci dan dioven, pasir baru dapat digunakan. Gambar pasir setelah diolah ditunjukkan pada gambar 4.7.

b. Crushed Recycle Glass (CRG)

Media ini dibuat dari limbah kaca yang dihancurkan. Pada eksperimen ini proses penghancuran dilaksanakan secara manual yaitu dengan cara menumbuk media hingga hancur menyerupai pasir. Untuk menghasilkan media yang bersih dan steril, media dicuci dan dioven pada suhu 105°C selama 2 jam (Griswidia, 2008).



Gambar 4.8. Limbah Kaca

Pada penelitian ini, limbah kaca diambil dari sisa – sisa potongan kaca yang sudah tidak digunakan lagi oleh toko kaca dan pecahan barang pecah belah. Gambar limbah kaca ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.9. Pembuatan *Crushed Recycle Glass*

Limbah kaca dihancurkan secara manual dengan cara menumbuk kaca hingga halus menyerupai pasir. Untuk menjaga keselamatan operator dari kaca yang terpentil digunakan helm pelindung. Gambar pembuatan *CRG* ditunjukkan pada gambar 4.9.



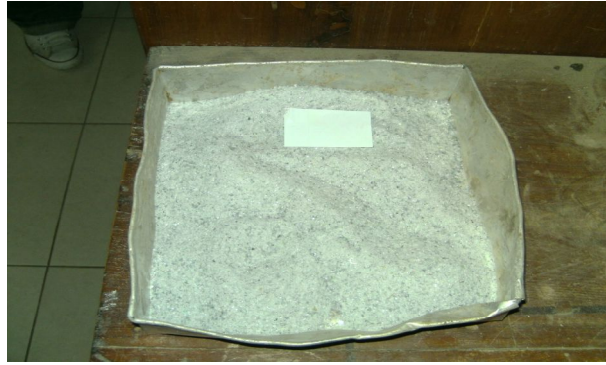
Gambar 4.10. Pencucian *CRG*

Proses pencucian *CRG* dilakukan dengan air bersih. Pencucian dilakukan sampai kotoran yang menyertai *CRG* dapat dipisahkan. Proses pencucian ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.11. Pengovenan *CRG*.

Setelah *CRG* bersih, media ini dioven selama dua jam. Proses pengovenan dilakukan terhadap semua *CRG* yang akan digunakan agar steril. Proses pengovenan ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.12. CRG Siap Pakai

Setelah CRG dicuci dan dioven, media ini baru dapat digunakan. Gambar CRG setelah diolah ditunjukkan pada gambar 4.12.

c. Media Penahan (Kerikil)

Jenis kerikil tersusun dengan lapisan teratas butiran kecil dan berurutan ke butiran kasar pada lapisan paling bawah; gradasi butir media kerikil dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Untuk menghasilkan kerikil dengan ukuran tersebut, dilakukan pengayakan terhadap media. Untuk menghasilkan media yang bersih dan steril, media dicuci dan dioven pada suhu 105°C selama 2 jam (Griswidia, 2008).



Gambar 4.13. Kerikil

Pada penelitian ini, kerikil yang digunakan diambil dari Sungai Bogowonto, Purworejo. Pada saat pengambilan ukuran kerikil belum

homogen sesuai dengan ketentuan SNI. Gambar kerikil ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.14. Pengayakan Kerikil

Untuk menghasilkan kerikil yang homogen yang memiliki ukuran yang sesuai dengan aturan SNI, maka kerikil diayak dengan empat buah ayakan yang mempunyai ukuran masing – masing 3 mm dan 4 mm, 10 mm dan 30 mm. Gambar proses pengayakan ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.15. Pencucian Kerikil

Proses pencucian kerikil dilakukan dengan air bersih. Pencucian dilakukan sampai kotoran yang menyertai kerikil dapat dipisahkan. Proses pencucian ditunjukkan pada gambar 4.15.



Gambar 4.16. Pengovenan Kerikil

Setelah bersih, kerikil dioven selama dua jam. Proses pengovenan dilakukan terhadap semua kerikil yang akan digunakan agar steril. Proses pengovenan ditunjukkan pada gambar 4.16.

d. Pengujian Kualitas Media filtrasi

Berdasarkan ketentuan SNI, media filtrasi harus memenuhi kriteria – kriteria tertentu seperti kadar SiO_2 lebih dari 90 %, diameter efektif (*effective size* - *ES*) butiran 0,2 mm - 0,4 mm, koefisien keseragaman (*uniformity coefficient* - *UC*) butiran 2 - 3, Berat jenis 2,55 gr/cm³ sampai dengan 2,65 gr/cm³, kelarutan pasir dalam air selama 24 jam kurang dari 3,0 % beratnya dan kelarutan pasir dalam HCl selama 4 jam kurang dari 3,5 % beratnya. Dikarenakan oleh keterbatasan yang ada, pada penelitian ini hanya akan diuji dua kriteria yaitu nilai *effective size* dan *uniformity coefficient*. Untuk mengujinya dilaksanakan pengujian analisis ayakan terhadap media filtrasi (pasir dan CRG) di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.



Gambar 4.17. Proses Pengayakan Bertingkat

Sampel pasir dan CRG diayak pada mesin pengayak dengan ukuran lubang ayakan 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,85 mm, 0,425 mm, 0,18 mm, 0,15 mm, 0,13 mm dan 0,08 mm. Pada pasir digunakan sampel dengan berat 139,660 gram dan pada CRG digunakan sampel seberat 137,870 gram. Gambar proses pengayakan ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4.18. Penimbangan

Setelah media diayak, media yang berukuran lebih besar dari ukuran lubang ayakan akan tertinggal di ayakan. Untuk menghitung berat media yang tertinggal maka media dan ayakan ditimbang dengan timbangan digital. Gambar proses penimbangan ditunjukkan pada gambar 4.18. Hasil uji ayakan pada pasir dan CRG ditunjukkan di tabel 4.2. dan tabel 4.3.

b. Hasil Uji Ayakan Pada Pasir

Diameter of Sieve	Ukuran Lubang (mm)	Wt of cup + sample	Wt of Cup	Wt of Lefted sample	Percent	Cum Percent	End Percent
1	2	3	4	5	6	7	8
4	4,75	465,89	465,89	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2,36	448,10	448,09	0,01	0,01%	0,01%	99,99%
16	1,18	476,04	448,13	27,91	19,98%	19,99%	80,01%
20	0,85	414,50	405,17	9,33	6,68%	26,67%	73,33%
40	0,43	437,40	373,29	64,11	45,90%	72,58%	27,42%
80	0,18	387,50	357,60	29,90	21,41%	93,99%	6,01%
100	0,15	358,17	352,16	6,01	4,30%	98,29%	1,71%
120	0,13	334,20	333,49	0,71	0,51%	98,80%	1,20%
200	0,08	405,96	404,56	1,40	1,00%	99,80%	0,20%
PAN	-	248,650	248,370	0,280	0,20%	100,00%	0,000

❖ Contoh Perhitungan:

- *Weight of Lefted Sample*

Berat Sampel yang tertinggal adalah berat sampel yang ada di dalam ayakan setelah proses pengayakan selesai. Berat sampel yang tertinggal dihitung dengan rumus:

$$\text{Wt of Lefted Sample} = (\text{Wt of Cup + sample}) - \text{Wt of cup}$$

Berat sampel yang tertinggal pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 4,75 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Wt\ of\ Lefted\ Sample &= 465,89\ gram - 465,89\ gram \\ &= 0,00\ gram \end{aligned}$$

- *Percent (%)*

Percent (%) adalah persentase berat sampel yang tertinggal terhadap berat keseluruhan sampel. *Percent (%)* dihitung dengan rumus:

$$Percent = \frac{WtOfLeftedSample}{TotalWtSample} \times 100\%$$

Percent pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 2,36 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Percent &= \frac{0,01}{139,66} \times 100\% \\ &= 0,01\% \end{aligned}$$

- *Cum Percent*

Cum Percent adalah nilai kumulatif persentase berat sampel tertinggal terhadap berat keseluruhan sampel. *Cum percent* dihitung dengan rumus:

$$Cum\ percent = Percent_n + Cum\ percent_{n-1}$$

Cum Percent pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 2,36 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Cum\ percent &= 0,01 + 0,00 \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

- *End Percent*

End Percent adalah persentase berat sampel yang lolos dari ayakan. *End Percent* dihitung dengan rumus:

$$End\ Percent = 1 - Cum\ Percent$$

End Percent pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 2,36 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} End\ Percent &= 1 - 0,01\% \\ &= 99,99\% \end{aligned}$$

c. Hasil Uji Ayakan Pada CRG

Diameter of sieve	Ukuran Lubang (mm)	Wt of cup + sample	Wt of Cup	Wt of Lefted sample	Percent	C Pe
1	2	3	4	5	6	
4	4,75	465,89	465,89	0,00	0,00%	0,
8	2,36	449,13	448,09	1,04	0,75%	0,
16	1,18	475,54	448,13	27,41	19,88%	20
20	0,85	416,23	405,17	11,06	8,02%	28
40	0,43	434,40	373,29	61,11	44,32%	72
80	0,18	386,50	357,60	28,90	20,96%	93
100	0,15	352,24	352,16	0,08	0,06%	94
120	0,13	335,28	333,49	1,79	1,30%	95
200	0,08	410,76	404,56	6,20	4,50%	99
PAN	-	248,650	248,370	0,280	0,20%	100

❖ Contoh Perhitungan:

- *Weight of Lefted Sample*

Berat Sampel yang tertinggal adalah berat sampel yang ada di dalam ayakan setelah proses pengayakan selesai. Berat sampel yang tertinggal dihitung dengan rumus:

$$Wt\ of\ Lefted\ Sample = (Wt\ of\ Cup + sample) - Wt\ of\ cup$$

Berat sampel yang tertinggal pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 4,75 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Wt\ of\ Lefted\ Sample &= 465,89\ gram - 465,89\ gram \\ &= 0,00\ gram \end{aligned}$$

- *Percent (%)*

Percent (%) adalah persentase berat sampel yang tertinggal terhadap berat keseluruhan sampel. *Percent (%)* dihitung dengan rumus:

$$Percent = \frac{WtOfLeftedSample}{TotalWtSample} \times 100\%$$

Percent pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 2,36 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Percent &= \frac{0,01}{139,66} \times 100\% \\ &= 0,01\% \end{aligned}$$

– *Cum Percent*

Cum Percent adalah nilai kumulatif persentase berat sampel tertinggal terhadap berat keseluruhan sampel. *Cum percent* dihitung dengan rumus:

$$\text{Cum percent} = \text{Percent}_n + \text{Cum percent}_{n-1}$$

Cum Percent pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 2,36 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Cum percent} &= 0,01 + 0,00 \\ &= 0,01\end{aligned}$$

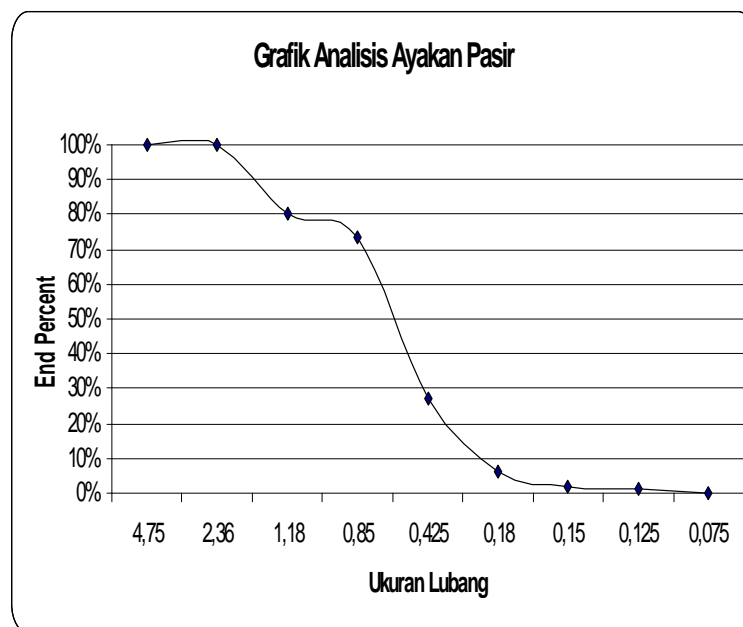
– *End Percent*

End Percent adalah persentase berat sampel yang lolos dari ayakan. *End Percent* dihitung dengan rumus:

$$\text{End Percent} = 1 - \text{Cum Percent}$$

End Percent pada ayakan yang mempunyai ukuran lubang 2,36 mm dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{End Percent} &= 1 - 0,01\% \\ &= 99,99\%\end{aligned}$$



Gambar 4.19. Grafik Analisis Ayakan Pasir

Gambar 4.19. menunjukkan bahwa pada ukuran lubang ayakan 0,18 persentase berat partikel pasir yang lolos sebesar 6,01% dan pada

ukuran lubang ayakan 0,43 persentase berat partikel pasir yang lolos sebesar 27,42 %. Untuk menentukan P_{10} persentase partikel yang lolos (*Effective Size*) pada ukuran ayakan X mm dihitung dengan cara :

$$\frac{X - 0,18}{0,43 - 0,18} = \frac{10\% - 6,01\%}{27,42\% - 6,01\%}$$

$$\frac{X - 0,18}{0,25} = \frac{3,99\%}{21,41\%}$$

$$\mathbf{X = 0,23 \text{ mm}}$$

Gambar 4.19. menunjukkan bahwa pada ukuran lubang ayakan 0,43 persentase berat partikel pasir yang lolos sebesar 27,42 % dan pada ukuran lubang ayakan 0,85 persentase berat partikel pasir yang lolos sebesar 73,33 %. Untuk menentukan P_{60} persentase partikel yang lolos pada ukuran ayakan X mm dihitung dengan cara :

$$\frac{0,85 - X}{0,85 - 0,43} = \frac{73,33\% - 60\%}{60\% - 27,42\%}$$

$$\frac{0,85 - X}{0,42} = \frac{13,33\%}{32,58\%}$$

$$\mathbf{X = 0,69 \text{ mm}}$$

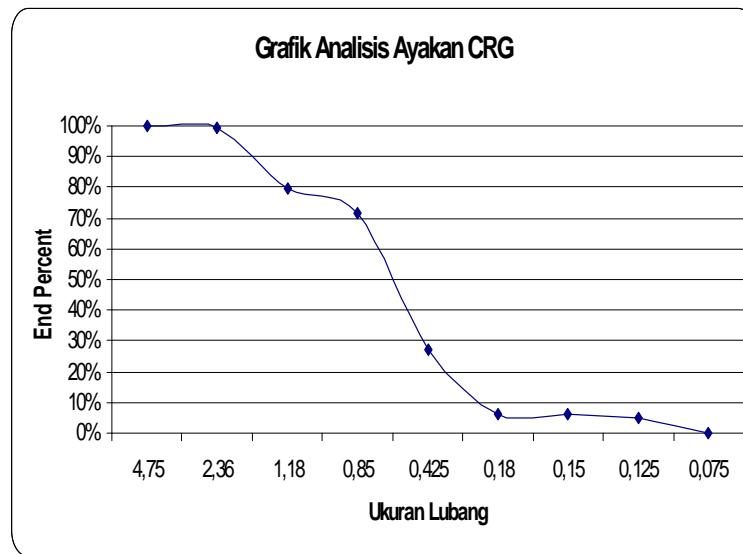
Sehingga *Uniformity Coefficien* (UC) pasir ditentukan dengan cara:

$$UC = \frac{P_{60}}{P_{10}}$$

$$= \frac{0,69}{0,23}$$

$$= 3$$

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa nilai ES pasir bernilai 0,23 yang memenuhi kriteria SNI yaitu 0,2-0,4 dan UC pasir bernilai 3 yang memenuhi kriteria SNI yaitu 2 - 3.



Gambar 4.20. Grafik Analisis Ayakan CRG

Gambar 4.20. menunjukkan bahwa pada ukuran lubang ayakan 0,18 persentase berat partikel CRG yang lolos sebesar 6,06% dan pada ukuran lubang ayakan 0,43 persentase berat partikel CRG yang lolos sebesar 27,02 %. Untuk menentukan P_{10} persentase partikel yang lolos (*Effective Size*) pada ukuran ayakan X mm dihitung dengan cara :

$$\frac{X - 0,18}{0,43 - 0,18} = \frac{10\% - 6,06\%}{27,02\% - 6,06\%}$$

$$\frac{X - 0,18}{0,25} = \frac{3,94\%}{20,96\%}$$

$$X = 0,23 \text{ mm}$$

Gambar 4.20. menunjukkan bahwa pada ukuran lubang ayakan 0,43 persentase berat partikel CRG yang lolos sebesar 27% dan pada ukuran lubang ayakan 0,85 persentase berat partikel CRG yang lolos sebesar 71 %. Untuk menentukan P_{60} persentase partikel yang lolos pada ukuran ayakan X mm dihitung dengan cara :

$$\frac{0,85 - X}{0,85 - 0,43} = \frac{71,34\% - 60\%}{60\% - 27,02\%}$$

$$\frac{0,85 - X}{0,42} = \frac{11,34\%}{32,98\%}$$

$$X = 0,71 \text{ mm}$$

Sehingga *Uniformity Coefficient* (UC) CRG dapat ditentukan dengan cara:

$$\begin{aligned} UC &= \frac{P_{60}}{P_{10}} \\ &= \frac{0,71}{0,23} \\ &= 3,08 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa nilai ES pasir bernilai 0,23 yang memenuhi kriteria SNI yaitu 0,2 – 0,4 dan UC pasir bernilai 3,08 yang sedikit melebihi kriteria SNI yaitu 2 – 3.

2. Media adsorpsi.

a. Zeolit

Media ini diambil dari penambangan zeolit di Klaten. Untuk menghasilkan media yang bersih dan steril, media dicuci dan dioven pada suhu 105 ° C selama 2 jam (Griswidia, 2008). Untuk menghasilkan ukuran yang homogen zeolit diayak, dengan ukuran ayakan 3 - 5 mm.



Gambar 4.21. Zeolit

Pada saat diambil dari penambangan, ukuran zeolit tidak menggunakan satuan ukuran internasional. Satuan ukuran yang digunakan menggunakan istilah setempat seperti ukuran *menir*, ukuran beras dan lain-lain. Pada penelitian ini, digunakan zeolit berukuran beras.



Gambar 4.22. Pengayakan zeolit

Untuk menghasilkan zeolit dengan ukuran 3-5 mm, maka kerikil di ayak dengan dua buah ayakan yang mempunyai ukuran masing-masing 3 mm dan 5 mm. Gambar proses pengayakan zeolit ditunjukkan pada gambar 4.22.



Gambar 4.23. Pencucian Zeolit.

Proses pencucian zeolit dilakukan dengan air bersih. Pencucian dilakukan sampai kotoran yang menyertai zeolit dapat dipisahkan. Proses pencucian ditunjukkan pada gambar 4.23.



Gambar 4.24. Pengovenan Zeolit.

Setelah dicuci, zeolit dioven selama dua jam. Proses pengovenan dilakukan terhadap semua zeolit yang akan digunakan agar steril. Proses pengovenan ditunjukkan pada gambar 4.24.

b. Karbon Aktif

Aktivasi karbon dilaksanakan dengan cara merendamnya pada larutan garam selama 48 jam, dipanaskan dalam oven pada temperatur 105°C , selama 20 jam (Nugroho, 2008). Untuk menghasilkan media yang bersih dan steril, media dicuci dan dioven pada suhu 105°C selama 2 jam (Griswidia, 2008). Untuk menghasilkan ukuran yang homogen, zeolit diayak dengan ukuran ayakan 3-5 mm. Untuk itu dilakukan pengayakan dua tahap, yaitu pengayakan dengan ukuran lubang 3 mm dan ukuran lubang 5 mm.



Gambar 4.25. Arang Tempurung Kelapa

Karbon diambil dari tempurung kelapa yang dijual di pasaran kemudian diperkecil ukurannya dengan cara ditumbuk. Gambar arang tempurung kelapa ditunjukkan pada gambar 4.25.



Gambar 4.26. Pengayakan Arang Tempurung Kelapa

Untuk menghasilkan arang tempurung kelapa dengan ukuran 3–5 mm, maka kerikil diayak dengan dua buah ayakan yang mempunyai ukuran masing-masing 3 mm dan 5 mm. Gambar proses pengayakan zeolit ditunjukkan pada gambar 4.26.



Gambar 4.27. Perendaman Arang Tempurung Kelapa

Untuk menghasilkan karbon aktif, arang tempurung kelapa tersebut direndam dalam larutan garam selama 48 jam. Gambar proses perendaman seperti pada gambar 4.27.



Gambar 4.28. Pengovenan Arang Tempurung Kelapa.

Untuk menghasilkan karbon aktif, setelah arang tempurung kelapa tersebut direndam dalam larutan garam selama 48 jam. Kemudian, Arang dioven pada

suhu 105°C selama 20 jam. Gambar proses perendaman ditunjukkan pada gambar 4.28.



Gambar 4.29. Pencucian Arang Tempurung Kelapa

Proses pencucian arang aktif dilakukan dengan air bersih. Pencucian dilakukan sampai kotoran yang menyertai arang aktif dapat dipisahkan. Proses pencucian ditunjukkan pada gambar 4.29.

4.1.3. Pelaksanaan Eksperimen

Eksperimen *water treatment* ini menggunakan dua buah reaktor filtrasi yang terhubung langsung dengan dua buah reaktor adsorpsi. Pada setiap reaktor filtrasi menggunakan dua jenis media yaitu pasir – kerikil dan *crushed recycle glass*(CRG) – kerikil, sedangkan pada reaktor adsorpsi hanya menggunakan satu jenis media yaitu zeolit dan karbon aktif.

Reaktor-reaktor tersebut diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air sumur dari Desa Tasikmadu Kecamatan Pituruh Kabupaten Purworejo. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan (BBTKL) Yogyakarta terhadap lima buah sampel air diketahui bahwa rata – rata kandungan fe sebesar 3,57 dan rata – rata tingkat kekeruhan sebesar 19,20. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kedua karakteristik kualitas air tersebut jauh di atas Nilai Ambang Batas (NAB).

Untuk itu, pada eksperimen ini hanya menggunakan dua buah variabel respon dan dua buah faktor dengan masing – masing

menggunakan dua buah level. Kedua variabel respon tersebut yaitu Kandungan Fe (R1) dan Tingkat Kekeruhan(R2). Adapun Faktor – faktor yang akan digunakan pada eksperimen ini yaitu faktor reaktor filtrasi (A) dan faktor reaktor adsorpsi (B). Faktor reaktor filtrasi menggunakan dua buah level yaitu CRG (A1) dan pasir (A2). Faktor reaktor adsorpsi menggunakan dua buah level yaitu zeolit (B1) dan arang aktif (B2).

Pengambilan sampel dilaksanakan secara acak terhadap air sebanyak lima replikasi masing – masing dua liter. Pelaksanaan pengambilan sampel dilakukan dalam waktu yang hampir bersamaan (tidak ada rentang waktu). Hal ini dilaksanakan untuk meminimalisir perbedaan waktu tinggal di dalam reaktor yang mempengaruhi kualitas air. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 3 Agustus 2009 pukul 06.00, selanjutnya diuji oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan (BBTKL) Yogyakarta mulai tanggal 3 Agustus 2009 – 25 Agustus 2009. Hasil Pengujian Laboratorium terhadap Sampel Air:

1. Hasil Pengujian Terhadap Kandungan Fe

d. Hasil Pengujian Sampel air terhadap kandungan Fe

Faktor		Hasil Pengujian Kandungan Fe (R1)				
Reaktor Filtrasi (A)	Reaktor adsorpsi (B)	I	II	III	IV	V
Crushed Recycle Glass(A1)	Zeolit (B1)	0,0366	0,0365	0,0367	0,0368	0,0369
	Arang aktif (B2)	0,0851	0,0850	0,0850	0,0853	0,0856
Pasir(A2)	Zeolit (B1)	0,0046	0,0042	0,0051	0,0047	0,0049
	Arang aktif (B2)	0,0781	0,0780	0,0788	0,0786	0,0785
AIR SUMUR (Kontrol1)		3,5723	3,5726	3,5724	3,5728	3,5731
AIR PAM (Kontrol2)		<0,0036	<0,0036	<0,0036	0,0039	0,0037

Berdasarkan tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe pada lima sampel air yang telah

melalui proses filtrasi dengan media CRG dan zeolit masih mengandung Fe masing – masing 0,0366 mg/liter , 0,0365 mg/liter, 0,0367 mg/liter, 0,0368 mg/liter, dan 0,0369 mg/liter.

Hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe pada lima sampel air yang telah melalui proses filtrasi dengan media CRG dan arang aktif masih mengandung Fe masing-masing 0,0851 mg/liter, 0,0850 mg/liter, 0,0850 mg/liter, 0,0853 mg/liter, dan 0,0856 mg/liter.

Hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe pada lima sampel air yang telah melalui proses filtrasi dengan media Pasir dan zeolit masih mengandung Fe masing – masing 0,0046 mg/liter, 0,0042 mg/liter, 0,0051 mg/liter, 0,0047 mg/liter, dan 0,0049 mg/liter.

Hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe pada lima sampel air yang telah melalui proses filtrasi dengan media Pasir dan arang aktif masih mengandung Fe masing-masing 0,0781 mg/liter, 0,0780 mg/liter, 0,0788 mg/liter, 0,0786 mg/liter, dan 0,0785 mg/liter.

Hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe pada lima sampel air sumur (air baku) mengandung Fe masing – masing 3,5723mg/liter, 3,5726 mg/liter, 3,5724 mg/liter, 3,5728 mg/liter, dan 3,5731 mg/liter.

Hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe pada lima sampel air PAM mengandung Fe masing-masing <0,0036mg/liter,<0,0036 mg/liter, <0,0036 mg/liter, 0,0039 mg/liter, dan 0,0037 mg/liter.

2. Hasil Pengujian terhadap Kekeruhan

Faktor		Hasil Pengujian Kekeruhan				
Reaktor Filtrasi (A)	Reaktor adsorpsi (B)	I	II	III	IV	V
Crushed	Zeolit (B1)	1	1	1	2	1
Recycle	Arang aktif (B2)	2	2	2	4	3

Glass(A1)						
Pasir(A2)	Zeolit (B1)	1	1	1	3	2
	Arang aktif (B2)	9	11	12	11	13
AIR SUMUR (Kontrol1)		16	16	21	23	20
AIR PAM (kontrol2)		<1	<1	1	1	1

Berdasarkan tabel 4.5 dapat dilihat bahwa hasil pengujian laboratorium terhadap tingkat kekeruhan pada lima sampel air yang telah melalui proses filtrasi dengan media CRG dan zeolit memiliki tingkat kekeruhan masing – masing 1 NTU, 1 NTU , 1 NTU , 2 NTU, dan 1 NTU.

Hasil pengujian laboratorium terhadap tingkat kekeruhan pada lima sampel air yang telah melalui proses filtrasi dengan media CRG dan karbon aktif memiliki tingkat kekeruhan masing – masing 2 NTU, 2 NTU , 2 NTU , 4 NTU, dan 3 NTU.

Hasil pengujian laboratorium terhadap tingkat kekeruhan pada lima sampel air yang telah melalui proses filtrasi dengan media pasir dan zeolit memiliki tingkat kekeruhan masing – masing 1 NTU, 1 NTU , 1 NTU , 3 NTU, dan 2 NTU.

Hasil pengujian laboratorium terhadap tingkat kekeruhan pada lima sampel air yang telah melalui proses filtrasi dengan media pasir dan arang aktif memiliki tingkat kekeruhan masing – masing 9 NTU, 11 NTU , 12 NTU , 11 NTU, dan 13 NTU.

Hasil pengujian laboratorium terhadap tingkat kekeruhan pada lima sampel air sumur (air baku) memiliki tingkat kekeruhan masing – masing 16 NTU, 16 NTU , 21 NTU , 23 NTU, dan 20 NTU.

Hasil pengujian laboratorium terhadap tingkat kekeruhan pada lima sampel air PAM memiliki tingkat kekeruhan masing – masing 1 NTU, 1 NTU , 1 NTU , 1 NTU, dan 1 NTU.

4.2. Pengolahan Data

Pengolahan data meliputi uji beda dua mean, uji sebelum Anova, uji Anova, dan uji Principal Component Analysis (PCA).

4.2.1. Uji Kesamaan Dua Rata - Rata

Pengujian kesamaan dua rata - rata dilakukan terhadap untuk mengetahui apakah air sumur sebagai air kontrol memiliki rata - rata yang sama terhadap rata - rata air hasil olahan.

$$- H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$- H_1 : \mu_1 < \mu_2$$

Taraf nyata $\alpha = 0.01$ dan wilayah kritik $t < t_{0.01} (-1,533)$

1. Uji Kesamaan Dua Rata - Rata Kandungan Fe

Uji Kesamaan dua rata - rata kandungan Fe dilakukan pada semua kombinasi faktor terhadap kontrol 1 dan kontrol 2.

a. Pada Kontrol 1 dan A1B1

f. Uji t pada A1B1 terhadap kontrol 1

A1B1	KONTROL 1	d
0,0366	3,5723	-3,5357
0,0365	3,5726	-3,5361
0,0367	3,5724	-3,5357
0,0368	3,5728	-3,5360
0,0369	3,5731	-3,5362
average		-3,5359
stdev		0,0002
t		-34344

Contoh Perhitungan

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{-3,5359 - 0}{0,0002 / \sqrt{5}} \\
 &= -34344
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.6 diketahui bahwa nilai $t_{hitung} (-34344) <$ nilai $t_{tabel} (-1,533)$ sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa

kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A1B1 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1

b. Pada Kontrol 1 dan A1B2

g. Uji t pada A1B2 terhadap kontrol 1

A1B2	KONTROL 1	d
0,0851	3,5723	-3,4872
0,0850	3,5726	-3,4876
0,0850	3,5724	-3,4874
0,0853	3,5728	-3,4875
0,0856	3,5731	-3,4875
average		-3,4874
stdev		0,0002
t		-51419

Contoh Perhitungan

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{-3,4874 - 0}{0,0002 / \sqrt{5}} \\
 &= -51419
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.7 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (-51419) < nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A1B2 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1

c. Pada Kontrol 1 dan A2B1

h. Uji t pada A2B1 terhadap kontrol 1

A2B1	KONTROL 1	d
0,0046	3,5723	-3,5677
0,0042	3,5726	-3,5684
0,0051	3,5724	-3,5673
0,0047	3,5728	-3,5681
0,0049	3,5731	-3,5682
average		-3,5679
stdev		0,0004
t		-18160,3

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{-3,5679 - 0}{0,0004/\sqrt{5}}$$

$$=-18160,3$$

Berdasarkan tabel 4.8 diketahui bahwa nilai t_{hitung} $(-18160,3) < \text{nilai } t_{tabel} (-1,533)$ sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A2B1 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1

d. Pada Kontrol 1 dan A2B2

i. Uji t pada A2B2 terhadap kontrol 1

A2B2	KONTROL 1	d
0,0781	3,5723	-3,4942
0,0780	3,5726	-3,4946
0,0788	3,5724	-3,4936
0,0786	3,5728	-3,4942
0,0785	3,5731	-3,4946
average		-3,4942
stdev		0,0004
t		-19062,6

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{-3,4942 - 0}{0,0004/\sqrt{5}}$$

$$=-19062,6$$

Berdasarkan tabel 4.9 diketahui bahwa nilai t_{hitung} $(-19062,6) < \text{nilai } t_{tabel} (-1,533)$ sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A2B2 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1

e. Pada Kontrol 2 dan A1B1

j. Uji t pada A1B1 terhadap kontrol 2

A1B1	KONTROL2	d
0,0366	0,0036	0,0330
0,0365	0,0036	0,0329
0,0367	0,0036	0,0331
0,0368	0,0039	0,0329
0,0369	0,0037	0,0332
average		0,0330
stdev		0,0001
t		566,2883

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{0,0330 - 0}{0,0001 / \sqrt{5}} \\
 &= 566,2883
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.10 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (566,2883) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A1B1 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2

f. Pada Kontrol 2 dan A1B2

k. Uji t pada A1B2 terhadap kontrol 2

A1B2	KONTROL2	d
0,0851	0,0036	0,0815
0,0850	0,0036	0,0814
0,0850	0,0036	0,0814
0,0853	0,0039	0,0814
0,0856	0,0037	0,0819
average		0,0815
stdev		0,0002
t		840,8146

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{0,0815 - 0}{0,0002 / \sqrt{5}} \\
 &= 840,8146
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.11 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (840,8146) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A1B2 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2

g. Pada Kontrol 2 dan A2B1

l. Uji t pada A2B1 terhadap kontrol 2

A2B1	KONTROL2	d
0,0046	0,0036	0,0010
0,0042	0,0036	0,0006
0,0051	0,0036	0,0015
0,0047	0,0039	0,0008
0,0049	0,0037	0,0012
average		0,0010
stdev		0,0003
t		6,529881

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{0,0010 - 0}{0,0003/\sqrt{5}}$$

$$= 6,529881$$

Berdasarkan tabel 4.12 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (6,529881) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A2B1 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2.

h. Pada Kontrol 2 dan A2B2

m. Uji t pada A2B2 terhadap kontrol 2

A2B2	KONTROL2	d
0,0781	0,0036	0,0745
0,0780	0,0036	0,0744
0,0788	0,0036	0,0752
0,0786	0,0039	0,0747
0,0785	0,0037	0,0748
average		0,07472
stdev		0,000311
t		536,4583

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{0,07472 - 0}{0,000311/\sqrt{5}}$$

$$= 536,4583$$

Berdasarkan tabel 4.13 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (536,4583) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa kandungan Fe air hasil olahan kombinasi media A2B2 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2

2. Uji Kesamaan Dua Rata – Rata Tingkat Kekeruhan

Uji Kesamaan dua rata – rata tingkat kekeruhan dilakukan pada semua kombinasi faktor terhadap kontrol 1 dan kontrol 2.

a. Pada Kontrol 1 dan A1B1

n. Uji t pada A1B1 terhadap kontrol 1

A1B1	KONTROL 1	d
1,0000	16,0000	-15,0000
1,0000	16,0000	-15,0000
1,0000	21,0000	-20,0000
2,0000	23,0000	-21,0000
1,0000	20,0000	-19,0000
average		-18,0000
stdev		2,8284
t		-14,2302

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{-18 - 0}{2,8284 / \sqrt{5}} \\
 &= -14,2302
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.14 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (-14,2302) < nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A1B1 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1.

b. Pada Kontrol 1 dan A1B2

o. Uji t pada A1B2 terhadap kontrol 1

A1B2	KONTROL 1	d
2,0000	16,0000	-14,0000
2,0000	16,0000	-14,0000
2,0000	21,0000	-19,0000
4,0000	23,0000	-19,0000
3,0000	20,0000	-17,0000
average		-16,6000
stdev		2,5100
t		-14,7885

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{-16,6 - 0}{2,51/\sqrt{5}}$$

$$= -14,7885$$

Berdasarkan tabel 4.15 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (-14,7885) < nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A1B2 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1.

c. Pada Kontrol 1 dan A2B1

p. Uji t pada A2B1 terhadap kontrol 1

A2B1	KONTROL 1	d
1,0000	16,0000	-15,0000
1,0000	16,0000	-15,0000
1,0000	21,0000	-20,0000
3,0000	23,0000	-20,0000
2,0000	20,0000	-18,0000
average		-17,6000
stdev		2,5100
t		-15,6793

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{-17,6 - 0}{2,51/\sqrt{5}}$$

$$= -15,6793$$

Berdasarkan tabel 4.16 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (-15,6793) < nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A2B1 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1.

d. Pada Kontrol 1 dan A2B2

q. Uji t pada A2B2 terhadap kontrol 1

A2B2	KONTROL 1	d
9,0000	16,0000	-7,0000
11,0000	16,0000	-5,0000
12,0000	21,0000	-9,0000
11,0000	23,0000	-12,0000
13,0000	20,0000	-7,0000
average		-8,0000

stdev	2,6458
t	-6,76123

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{-8 - 0}{2,6458 / \sqrt{5}} \\
 &= -6,76123
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.17 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (-6,76123) < nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A2B2 jauh lebih rendah dibandingkan kontrol1.

e. Pada Kontrol 2 dan A1B1

r. Uji t pada A1B1 terhadap kontrol 2

A1B1	KONTROL2	d
1,0000	1,0000	0,0000
1,0000	1,0000	0,0000
1,0000	1,0000	0,0000
2,0000	1,0000	1,0000
1,0000	1,0000	0,0000
average		0,2000
stdev		0,4472
t		1

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{0,2 - 0}{0,4472 / \sqrt{5}} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.18 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (1) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A1B1 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2.

f. Pada Kontrol 2 dan A1B2

s. Uji t pada A1B2 terhadap kontrol 2

A1B2	KONTROL2	d
------	----------	---

2,0000	1,0000	1,0000
2,0000	1,0000	1,0000
2,0000	1,0000	1,0000
4,0000	1,0000	3,0000
3,0000	1,0000	2,0000
average		1,6000
stdev		0,8944
t		4

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{1,6 - 0}{0,8944 / \sqrt{5}}$$

$$= 4$$

Berdasarkan tabel 4.19 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (4) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A1B2 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2.

g. Pada Kontrol 2 dan A2B1

t. Uji t pada A2B1 terhadap kontrol 2

A2B1	KONTROL2	d
1,0000	1,0000	0,0000
1,0000	1,0000	0,0000
1,0000	1,0000	0,0000
3,0000	1,0000	2,0000
2,0000	1,0000	1,0000
average		0,6000
stdev		0,8944
t		1,5

Contoh Perhitungan:

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

$$= \frac{0,6 - 0}{0,8944 / \sqrt{5}}$$

$$= 1,5$$

Berdasarkan tabel 4.20 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (1,5) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A2B1 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2

h. Pada Kontrol 2 dan A2B2

i. u.

Uji t pada A2B2 terhadap kontrol 2

A2B2	KONTROL2	d
9,0000	1,0000	8,0000
11,0000	1,0000	10,0000
12,0000	1,0000	11,0000
11,0000	1,0000	10,0000
13,0000	1,0000	12,0000
average		10,2000
stdev		1,4832
t		15,37708

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} \\
 &= \frac{10,2 - 0}{1,4832 / \sqrt{5}} \\
 &= 15,37708
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.21 diketahui bahwa nilai t_{hitung} (15,37708) > nilai t_{tabel} (-1,533) sehingga terima H_0 dan dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air hasil olahan kombinasi media A2B2 tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kontrol2

4.2.2. Uji Sebelum Anova

Uji sebelum Anova merupakan pengujian asumsi-asumsi Anova, meliputi uji kenormalan, uji homogenitas, dan uji independensi. Apabila seluruh hasil pengujian terhadap asumsi Anova tidak terpenuhi, maka akan ditinjau kembali metode eksperimen dan selanjutnya akan dilakukan kembali proses pengambilan data. Proses pengujian asumsi Anova dilakukan terhadap data hasil pengujian kandungan Fe dan kekeruhan

Pembahasan uji asumsi dimulai dari pembahasan uji normalitas data dengan metode lilliefors kemudian pembahasan uji homogenitas dengan metode levene test, dan terakhir adalah uji independensi dengan metode plot residual data terhadap urutan pengambilan data.

1. Uji Normalitas terhadap *error*.

Asumsi pertama Anova adalah komponen – komponen *error* yang berhubungan dengan nilai respon berdistribusi normal. Jika residual *error* berdistribusi normal maka distribusi dari nilai Y_i juga mengikuti berdistribusi normal. Demikian juga sebaliknya, jika kita menggunakan sample secara *random* dari suatu populasi yang diketahui berdistribusi normal maka nilai – nilai residualnya juga akan mengikuti berdistribusi normal. (Glenn,2008)

Oleh karena itu, pada asumsi ini akan digunakan nilai – nilai sample untuk menguji kenormalan suatu populasi sehingga secara otomatis normalitas *error* dapat ditentukan. Untuk menguji normalitas data akan digunakan metode *lilliefors*. Prosedur penghitungan uji normalitas dengan metode *lilliefors* sebagai berikut:

- a. Data observasi diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar.
- b. Rata-rata (\bar{x}) dan standar deviasi (s) data tersebut ditentukan.
- c. Data (x) tersebut ditransformasikan menjadi nilai baku (z).

$$z_i = (x_i - \bar{x})/s$$

dimana x_i = nilai pengamatan ke-1

\bar{x} = rata-rata

s = standar deviasi

- d. Dari nilai baku (z), nilai probabilitasnya $P(z)$ ditentukan berdasarkan sebaran normal baku, sebagai probabilitas pengamatan. Gunakan tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal, atau dengan bantuan Ms. Excel dengan function NORMSDIST.

A2	B1	1,00	-0,67	-0,67	0,25	0,20	0,05	0,25
		1,00	-0,67	-1,34	0,25	0,40	0,15	0,05
		1,00	-0,67	-2,01	0,25	0,60	0,35	0,15
		2,00	0,45	-1,57	0,67	0,80	0,13	0,07
		3,00	1,57	0,00	0,94	1,00	0,06	0,14
x bar		1,60	Nilai Maksimum				0,35	0,25
s		0,89						
A2	B2	9,00	-1,48	-1,48	0,07	0,20	0,13	0,07
		11,00	-0,13	-1,62	0,45	0,40	0,05	0,25
		11,00	-0,13	-1,75	0,45	0,60	0,15	0,05
		12,00	0,54	-1,21	0,71	0,80	0,09	0,11
		13,00	1,21	0,00	0,89	1,00	0,11	0,09
x bar		11,20	Nilai Maksimum(max)				0,15	0,25
s		1,48						

❖ Contoh perhitungan:

Contoh perhitungan ini, data diambil dari tabel 4.22 pada faktor A1B1. Proses pengerjaan perhitungan sebagai berikut:

- Data observasi diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar sebagaimana pada kolom R1 Tabel 4.22.
- Rata-rata (\bar{x}) dan standar deviasi (s) data tersebut dihitung.

$$\bar{x} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{1+1+\dots+2}{5} = 1,2$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(1^2+1^2+\dots+2^2) - \frac{(6)^2}{5}}{5-1}} = 0,45$$

- Data (x) tersebut ditransformasikan menjadi nilai baku (z).

$$z_i = (x_i - \bar{x})/s$$

$$Z_1 = \frac{1-1,2}{0,45}$$

$$= -0,45$$

- Dari nilai baku (z), nilai probabilitasnya $P(z)$ ditentukan berdasarkan sebaran normal baku, sebagai probabilitas pengamatan. Gunakan tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal, atau dengan bantuan Ms. Excel dengan *function* NORMSDIST.

$$P(z_1) = \text{Normsdist}(Z_1) \\ = 0,33$$

- Nilai probabilitas harapan kumulatif $P(x)$ ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$P(X_i) = i/n$$

Misal :

$$P(x_1) = 1/5 = 0,2$$

- Nilai maksimum ditentukan dari selisih absolut $P(z)$ dan $P(x)$, yaitu:

$$\text{Maks } |P(z) - P(x)|, \text{ sebagai nilai } L_{\text{hitung}}$$

$$\text{Maks } |P(z) - P(x)| = 0,47$$

Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa hanya *treatment* A1B1 yang tidak memenuhi asumsi normalitas *error* karena $L_{\text{hitung}} (0,47) > L_{\text{tabel}} (0,405)$. Karena penyimpangan L_{hitung} terhadap L_{tabel} sedikit, penyimpangan ini memberikan akibat buruk yang kecil terhadap hasil pengujian dan kesimpulannya.

- b. Uji normalitas *error* pada pengujian kandungan Fe (R2)

Faktor		R1	z	Kum(z)	P(z)	P(x)	P(z)-P(x)	P(x-1)-P(z)
A	B							
A1	B1	0,04	-1,26	-1,26	0,51	0,20	0,31	0,51
		0,04	-0,63	-1,90	0,51	0,40	0,11	0,31
		0,04	0,00	-1,90	0,51	0,60	0,09	0,11
		0,04	0,63	-1,26	0,51	0,80	0,29	0,09
		0,04	1,26	0,00	0,51	1,00	0,49	0,29
x bar		0,04	Nilai Maksimum(max)				0,49	0,51
s		0,00						
A1	B2	0,09	-0,78	-0,78	0,22	0,20	0,02	0,22
		0,09	-0,78	-1,57	0,22	0,40	0,18	0,02

		0,09	-0,39	-1,96	0,35	0,60	0,25	0,05
		0,09	0,39	-1,57	0,65	0,80	0,15	0,05
		0,09	1,57	0,00	0,94	1,00	0,06	0,14
x bar		0,09	Nilai Maksimum(max)				0,25	0,22
s		0,00						
A2	B1	0,00	-1,47	-1,47	0,07	0,20	0,13	0,07
		0,00	-0,29	-1,77	0,38	0,40	0,02	0,18
		0,00	0,00	-1,77	0,50	0,60	0,10	0,10
		0,00	0,59	-1,18	0,72	0,80	0,08	0,12
		0,01	1,18	0,00	0,88	1,00	0,12	0,08
x bar		0,00	Nilai Maksimum(max)				0,13	0,18
s		0,00						
A2	B2	0,08	-0,88	-0,88	0,19	0,20	0,01	0,19
		0,08	-1,18	-2,06	0,12	0,40	0,28	0,08
		0,08	0,29	-1,77	0,62	0,60	0,02	0,22
		0,08	0,59	-1,18	0,72	0,80	0,08	0,12
		0,08	1,18	0,00	0,88	1,00	0,12	0,08
x bar		0,08	Nilai Maksimum(max)				0,28	0,22
s		0,00						

❖ Contoh perhitungan:

Contoh perhitungan ini, data diambil dari tabel 4.23 pada faktor A1B1. Proses pengerjaan perhitungan sebagai berikut:

- Data observasi diurutkan dari yang terkecil sampai terbesar sebagaimana pada kolom R1 Tabel 4.23.
- Rata-rata (\bar{x}) dan standar deviasi (s) data tersebut dihitung.

$$\bar{x} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{0,04 + 0,04 + \dots + 0,04}{5} = 0,04$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(0,04^2 + 0,04^2 + \dots + 0,04^2) - \frac{(0,1835)^2}{5}}{5-1}} = 0,0002$$

- Data (x) tersebut ditransformasikan menjadi nilai baku (z).

$$z_i = (x_i - \bar{x})/s$$

$$Z_1 = \frac{0,04 - 0,04}{0,0002}$$

$$= - 1,26$$

- Dari nilai baku (z), nilai probabilitasnya $P(z)$ ditentukan berdasarkan sebaran normal baku, sebagai probabilitas pengamatan. Gunakan tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal, atau dengan bantuan Ms. Excel dengan *function* NORMSDIST.

$$P(z_1) = \text{Normsdist}(Z_1)$$

$$= 0,51$$

- Nilai probabilitas harapan kumulatif $P(x)$ ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$P(X_i) = i/n$$

Misal :

$$P(x_1) = 1/5 = 0,2$$

- Nilai maksimum dari selisih absolut $P(z)$ dan $P(x)$ ditentukan, yaitu:

$$\text{Maks } |P(z) - P(x)|, \text{ sebagai nilai } L_{\text{hitung}}$$

$$\text{Maks } |P(z) - P(x)| = 0.49$$

Berdasarkan tabel 4.23 dapat disimpulkan bahwa hanya *treatment* A1B1 yang tidak memenuhi asumsi normalitas *error* karena $L_{\text{hitung}} (0,49) > L_{\text{tabel}} (0,405)$.

Penyimpangan yang wajar dari syarat – syarat yang telah digariskan sering tidak mengakibatkan bahaya yang hebat. Misalnya, sedikit terjadi penyimpangan dari normalitas dan atau dari sifat homogenitas varians, biasanya hanya memberikan akibat buruk yang kecil terhadap hasil pengujian dan kesimpulannya. Karena penyimpangan L_{hitung} terhadap L_{tabel} sedikit, penyimpangan ini memberikan akibat buruk yang kecil terhadap hasil pengujian dan kesimpulannya (Sudjana,2002).

2. Uji Homogenitas

Pengujian homogenitas dilakukan dengan metode *levene test*, yaitu menguji kesamaan ragam data observasi antar level faktornya. Hipotesis yang diajukan adalah :

- $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$
- H_1 : Data antar level faktor memiliki ragam yang tidak sama.

Taraf nyata $\alpha = 0.01$ dan wilayah kritik $F > F_{0.01} (8,29)$

a. Uji Homogenitas Pada Faktor A Terhadap Kekeruhan

x. Uji Homogenitas Faktor A terhadap terhadap R1

FAKTOR A			(Y1 -YBAR)	(Y2-YBAR)	(Y1-YBAR)^2	(Y2-YBAR)
No	A1	A2				
1	1,00	1,00	-0,90	-5,40	0,81	29,16
2	1,00	1,00	-0,90	-5,40	0,81	29,16
3	1,00	1,00	-0,90	-5,40	0,81	29,16
4	1,00	2,00	-0,90	-4,40	0,81	19,36
5	2,00	3,00	0,10	-3,40	0,01	11,56
6	2,00	9,00	0,10	2,60	0,01	6,76
7	2,00	11,00	0,10	4,60	0,01	21,16
8	2,00	11,00	0,10	4,60	0,01	21,16
9	3,00	12,00	1,10	5,60	1,21	31,36
10	4,00	13,00	2,10	6,60	4,41	43,56
JUMLAH	19,00	64,00	0,00	0,00	8,90	242,40
YBAR	1,90	6,40				
Faktor Koreksi (FK)						0,00
HASIL UJI KESERAGAMAN						
Sumber	df	SS	MS	F Hitung		
RF	1,00	0,00	0,00	0,00		
Error	18,00	251,30	13,96	F Tabel		
Total	19,00	251,30		8,29		

❖ Contoh Penghitungan

$$\begin{aligned}\text{Faktor koreksi (FK)} &= (0,00 + 0,00)^2 / 20 \\ &= 0,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SS_A &= (0,00^2 + 0,00^2) / 10 - FK \\ &= 0,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SS_{\text{Total}} &= (8,90 + 242,40) - FK \\ &= 251,30\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SS\text{-Error} &= SS_{\text{total}} - SS(A) \\ &= 251,30\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.24, nilai F_{hitung} sebesar 0,00 lebih kecil dari F_{tabel} (8,29), sehingga terima H_0 dan simpulkan bahwa data hasil pengujian kekeruhan pada faktor A memiliki ragam yang sama (homogen).

b. Uji Homogenitas Pada Faktor A Terhadap Kandungan Fe

y. Uji Homogenitas Faktor A terhadap R2

A			(Y1 - YBAR)	(Y2 - YBAR)	(Y1 - YBAR)^2	(Y2 - YBAR)^2
No	A1	A2				
1	0,04	0,00	-0,02	-0,04	0,00	0,00
2	0,04	0,00	-0,02	-0,04	0,00	0,00
3	0,04	0,00	-0,02	-0,04	0,00	0,00
4	0,04	0,00	-0,02	-0,04	0,00	0,00
5	0,04	0,01	-0,02	-0,04	0,00	0,00
6	0,09	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00
7	0,09	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00
8	0,09	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00
9	0,09	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00
10	0,09	0,08	0,02	0,04	0,00	0,00
Y BAR	0,06	0,04				
JUMLAH	0,61	0,42	0,00	0,00	0,01	0,01
FK						0,00
HASIL UJI KESERAGAMAN						
Sumber	df	SS	MS	F Hitung		
A	1,00	0,00	0,00	0,00		
Error	18,00	0,02	0,00	F Tabel		
Total	19,00	0,02		8,29		

❖ Contoh Penghitungan

$$\begin{aligned}\text{Faktor koreksi (FK)} &= (0,00 + 0,00)^2 / 20 \\ &= 0,00\end{aligned}$$

$$SS_A = (0,00^2 + 0,00^2) / 10 - FK$$

$$= 0,00$$

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= (0,01+0,01) - FK \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS\text{-}Error &= SS_{\text{total}} - SS(A) \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.25, nilai F_{hitung} sebesar 0,00 lebih kecil dari F_{tabel} (8,29), sehingga terima H_0 dan simpulkan bahwa data hasil pengujian Fe pada faktor A memiliki ragam yang sama (homogen).

c. Uji Homogenitas Pada Faktor B Terhadap Kekeruhan

z. Uji Homogenitas Faktor B terhadap terhadap R1

B			(Y1 -YBAR)	(Y2-YBAR)	(Y-YBAR)^2	(Y-YBAR)^2
No	B1	B2				
1	1,00	2,00	-0,40	-4,90	0,16	24,01
2	1,00	2,00	-0,40	-4,90	0,16	24,01
3	1,00	2,00	-0,40	-4,90	0,16	24,01
4	1,00	3,00	-0,40	-3,90	0,16	15,21
5	2,00	4,00	0,60	-2,90	0,36	8,41
6	1,00	9,00	-0,40	2,10	0,16	4,41
7	1,00	11,00	-0,40	4,10	0,16	16,81
8	1,00	11,00	-0,40	4,10	0,16	16,81
9	2,00	12,00	0,60	5,10	0,36	26,01
10	3,00	13,00	1,60	6,10	2,56	37,21
Jml	14,00	69,00	0,00	0,00	4,40	196,90
Y BAR	1,40	6,90				
Faktor Koreksi(FK)					0,00	
HASIL UJI KESERAGAMAN						
Sumber	df	SS	MS	F Hitung		
RF	1,00	0,00	0,00	0,00		
Error	18,00	201,30	11,18	F Tabel		
Total	19,00	201,30		8,29		

❖ Contoh Penghitungan

$$\begin{aligned} \text{Faktor koreksi (FK)} &= (0,00+ 0,00)^2/20 \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_A &= (0,00^2+0,00^2)/10 - FK \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_{\text{Total}} &= (4,40+196,90) - FK \\ &= 201,30 \end{aligned}$$

$$SS\text{-}Error = SS_{\text{total}} - SS_{(A)}$$

$$= 201,30$$

Berdasarkan Tabel 4.26, nilai F_{hitung} sebesar 0,00 lebih kecil dari F_{tabel} (8,29), sehingga terima H_0 dan simpulkan bahwa data hasil pengujian kekeruhan pada faktor B memiliki ragam yang sama (homogen).

d. Uji Homogenitas pada Faktor B terhadap Kandungan Fe

å. Uji Homogenitas Faktor B terhadap terhadap R2

B			(Y1 -YBAR)	(Y2-YBAR)	(Y-YBAR)^2	(Y-YBAR)^2
No	B1	B2				
1	0,04	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00
2	0,04	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00
3	0,04	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00
4	0,04	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00
5	0,04	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,08	-0,02	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,08	-0,02	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,08	-0,02	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,08	-0,02	0,00	0,00	0,00
10	0,01	0,08	-0,02	0,00	0,00	0,00
Y BAR	0,02	0,08				
JUMLAH	0,21	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00
FK						0,00
HASIL UJI KESERAGAMAN						
Sumber	df	JK	KT	F Hitung		
RF	1,00	0,00	0,00	0,00		
Error	18,00	0,00	0,00	F Tabel		
Total	19,00	0,00		8,29		

❖ Contoh Penghitungan

$$\begin{aligned}\text{Faktor koreksi (FK)} &= (0,00+ 0,00)^2/20 \\ &= 0,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SS}_A &= (0,00^2+0,00^2)/10 - \text{FK} \\ &= 0,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SS}_{\text{Total}} &= (0,00+0,00) - \text{FK} \\ &= 0,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SS-Error} &= \text{SS}_{\text{total}} - \text{SS}_A \\ &= 0,00\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.27, nilai F_{hitung} sebesar 0,00 lebih kecil dari $F_{tabel} (8,29)$, sehingga terima H_0 dan simpulkan bahwa data hasil pengujian Fe pada faktor B memiliki ragam yang sama (homogen).

3. Uji Independensi

Pengujian independensi eksperimen dilakukan dengan membuat plot residual data untuk setiap perlakuan berdasarkan urutan pengambilan data pada eksperimen. Nilai residual tersebut merupakan selisih data observasi dengan rata-rata tiap perlakuan.

a. Uji Independensi Kekeruhan

bb. Uji Independensi Error terhadap R1

No	Perlakuan	Hasil Uji Kekeruhan					Rata - rata	Residual		
		I	II	III	IV	V		I	II	III
1	A1B1	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,20	-0,20	-0,20	-0,20
2	A1B2	2,00	2,00	2,00	4,00	3,00	2,60	-0,60	-0,60	-0,60
3	A2B1	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	1,60	-0,60	-0,60	-0,60
4	A2B2	9,00	11,00	12,00	11,00	13,00	11,20	-2,20	-0,20	0,80

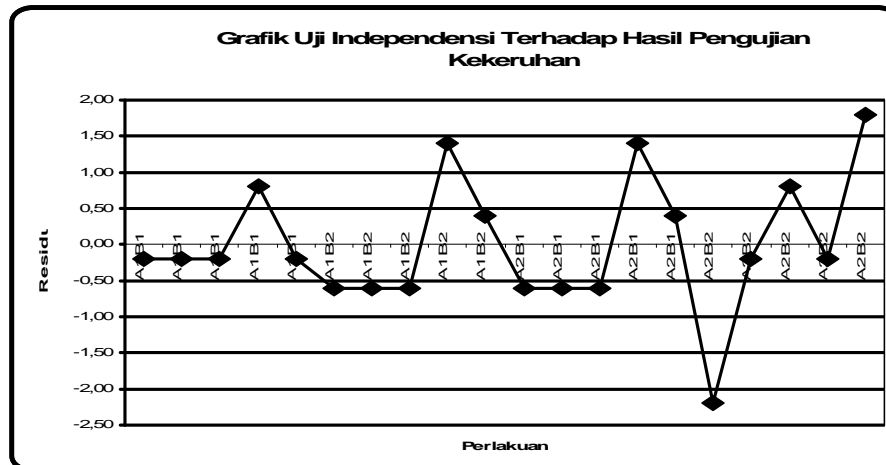
❖ Contoh Perhitungan:

$$\text{Rata - rata} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata}_{A1B1} &= \frac{1+1+1+2+1}{5} \\ &= 1,2 \end{aligned}$$

$$\text{Residual} = x_i - \text{rata - rata}$$

$$\begin{aligned} \text{Residual}_{A1B1} &= 1 - 1,2 \\ &= -0,2 \end{aligned}$$



Gambar 4.30. Grafik Uji Independensi terhadap Hasil Pengujian Kekeruhan

Pada data hasil pengujian kekeruhan tidak independen sempurna. Hal ini dapat kita lihat pada grafik, perlakuan A1B1, A1B2, A2B1 cenderung menunjukkan pola tertentu. Sedangkan pada perlakuan A2B2 tidak menunjukkan pola tertentu.

b. Uji Independensi Fe

cc. Uji Independensi Error terhadap R²

No	Perlakuan	Hasil Uji Kandungan Fe (10 ⁻⁴ mg/l)					Rata - rata	Residual (10 ⁻⁴)			
		I	II	III	IV	V		I	II	III	IV
1	A1B1	366	365	367	368	369	367	-1	-2	0	1
2	A1B2	851	850	850	853	856	852	-1	-2	-2	1
3	A2B1	46	42	51	47	49	47	-1	-5	4	0
4	A2B2	81	780	788	786	785	784	-3	-4	4	2

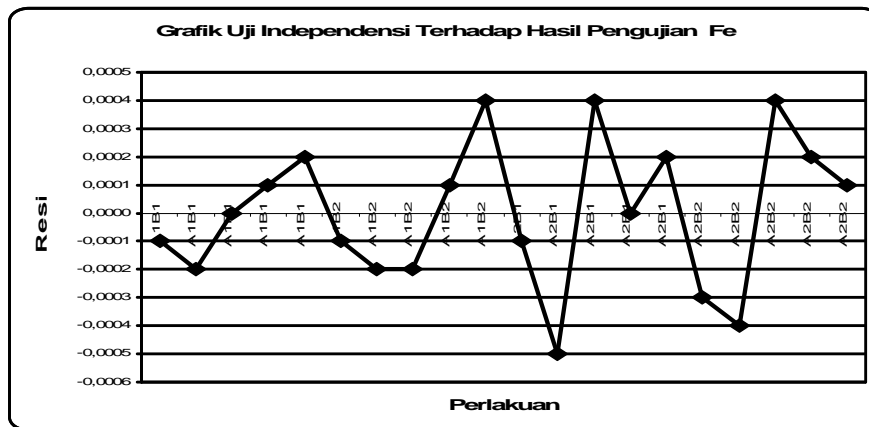
❖ Contoh perhitungan:

$$\text{Rata - rata} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata}_{A1B1} &= \frac{366 + 365 + 367 + 368 + 369}{5} \times 10^{-4} \\ &= 367 \end{aligned}$$

$$\text{Residual} = x_i - \text{rata - rata}$$

$$\begin{aligned}\text{Residual A1B1}_1 &= (367 - 366) \times 10^{-4} \\ &= -1 \times 10^{-4}\end{aligned}$$



Gambar 4.31. Grafik Uji Independensi terhadap Hasil Pengujian Fe

Berdasarkan Gambar 4.31, dapat disimpulkan bahwa residual pada data hasil pengujian kekeruhan independen. Hal ini dapat kita lihat pada grafik, semua perlakuan tidak menunjukkan pola tertentu.

3. Uji Anova

Pengujian analisis variansi dilakukan terhadap untuk mengetahui apakah faktor-faktor yang diteliti berpengaruh signifikan terhadap variabel respon tersebut. Hipotesis umum yang diajukan adalah ada perbedaan yang signifikan antar faktor maupun level dalam setiap faktor yang diteliti. Hipotesis umum ini disebut sebagai hipotesis satu (H_1).

H_{01} : Pengaruh reaktor filtrasi terhadap kekeruhan tidak berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

H_{11} : Pengaruh reaktor filtrasi terhadap kekeruhan berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

H_{02} : Pengaruh reaktor adsorpsi terhadap kekeruhan tidak berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

H_{12} : Pengaruh reaktor adsorpsi terhadap kekeruhan berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

Keputusan terhadap hipotesis nol didasarkan pada nilai F_{hitung} , yakni hipotesis nol (H_0) ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan diterima jika $F_{hitung} < F_{tabel}$. F_{tabel} diperoleh dari tabel distribusi F kumulatif, dengan $df_1 = df$ yang bersangkutan dan $df_2 = df_{error}$. Dengan derajat kepercayaan 99%, $df_1 = 1$ dan $df_2 = 16$, nilai $f_{tabel} = 8,53$

a. Uji Anova untuk Kekakuan

dd. Persiapan Uji Anova R1

Rep	TREATMENT			
	A1B1	A2B1	A1B2	A2B2
1	1,00	1,00	2,00	9,00
2	1,00	1,00	2,00	11,00
3	1,00	1,00	2,00	12,00
4	2,00	3,00	4,00	11,00
	1,00	2,00	3,00	13,00
ΣAB	6,00	8,00	13,00	56,00
ΣY²	8,00	16,00	37,00	636,00
Y bar	1,20	1,60	2,60	11,20
s	0,45	0,89	0,89	1,48
AB Matrix (sum)				
		FAKTOR B		Marginal Sum
		B1	B2	
A	A1	6,00	13,00	19,00
	A2	8,00	56,00	64,00
Marginal Sum		14,00	69,00	83,00
AB Matrix (mean)				
		FAKTOR B		Marginal Sum
		B1	B2	
A	A1	1,20	2,60	3,80
	A2	1,60	11,20	12,80
Marginal Sum		2,80	13,80	16,60

Untuk mempermudah menghitung *sums of squares*, *degrees of freedom*, *mean square* dan *F ratio*, dilakukan beberapa perhitungan persiapan ditunjukkan pada tabel 4.30.

ee. Uji Anova terhadap R1

SOURCE	SS	DF	MS	F hitung
A	101,25	1,00	101,25	101,25
B	151,25	1,00	151,25	151,25
AXB	84,05	1,00	84,05	84,05
ERROR	16,00	16,00	1,00	
TOTAL	352,55	19,00	18,56	

❖ Contoh Perhitungan:

1. Perhitungan *Sums Of Square*

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \frac{\sum A^2}{(b)(n)} - \frac{T^2}{(a)(b)(n)} \\
 &= \frac{(19)^2 + (64)^2}{(2)(5)} - \frac{(83)^2}{(2)(2)(5)} \\
 &= 445,7 - 344,45
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 101,25 \\
SS_B &= \frac{\sum B^2}{(a)(n)} - \frac{T^2}{(a)(b)(n)} \\
&= \frac{(14)^2 + (69)^2}{(2)(5)} - \frac{(83)^2}{(2)(2)(5)} \\
&= 495,7 - 344,45 \\
&= 151,25 \\
SS_{A \times B} &= \frac{\sum AB^2}{n} - \frac{\sum A}{(b)(n)} - \frac{\sum B^2}{(a)(n)} + \frac{\sum T^2}{(a)(b)(n)} \\
&= \frac{(6)^2 + (13)^2 + (8)^2 + (56)^2}{5} - 445,7 - 495,7 + 344,45 \\
&= 681 - 445,7 - 495,7 + 344,45 \\
&= 84,05 \\
SS_{Error} &= \sum Y^2 - \frac{\sum (AB)^2}{n} \\
&= 8,00 + 16,00 + 37,00 + 636,00 - 681 \\
&= 697 - 681 \\
&= 16,00 \\
SS_{Total} &= \sum Y^2 - \frac{\sum (T)^2}{(a)(b)(n)} \\
&= 697 - 344,45 \\
&= 352,55
\end{aligned}$$

2. Perhitungan *Degree Of Freedom*

$$Df_A = a - 1$$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

$$Df_B = b - 1$$

$$= 2 - 1$$

$$= 1$$

$$Df_{A \times B} = (a - 1) (b - 1)$$

$$= (2 - 1) (2 - 1)$$

$$\begin{aligned}
 Df_{\text{Error}} &= (a)(b)(n - 1) \\
 &= (2)(2)(5-1) \\
 &= 16
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Df_{\text{Total}} &= (a)(b)(n) - 1 \\
 &= (2)(2)(5) - 1 \\
 &= 19
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan *Mean Square*

$$\begin{aligned}
 MS_A &= \frac{SS_A}{df_A} \\
 &= \frac{101,25}{1} \\
 &= 101,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_B &= \frac{SS_B}{df_B} \\
 &= \frac{151,25}{1} \\
 &= 151,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_{A \times B} &= \frac{SS_{AXB}}{df_{AXB}} \\
 &= \frac{84,05}{1} \\
 &= 84,05
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_{\text{Error}} &= \frac{SS_{\text{Error}}}{df_{\text{Error}}} \\
 &= \frac{16,00}{16} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_{\text{Total}} &= \frac{SS_{\text{Total}}}{df_{\text{Total}}} \\
 &= \frac{352,55}{19}
 \end{aligned}$$

$$= 18,56$$

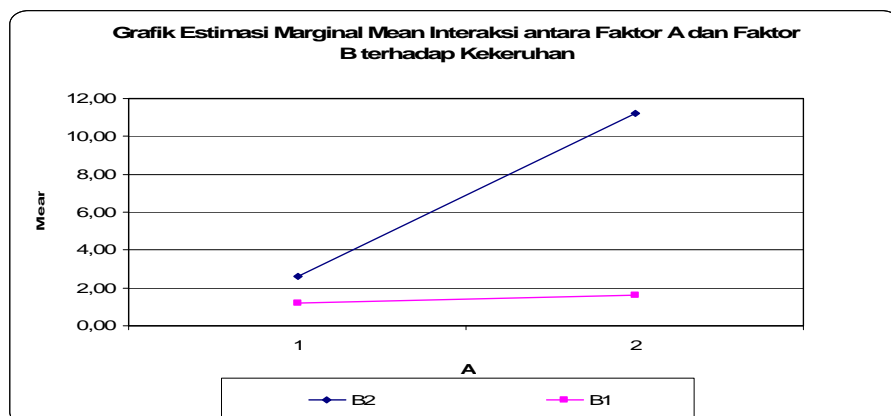
4. Perhitungan *F Ratio*

$$\begin{aligned} F_A &= \frac{MS_A}{MS_{Error}} \\ &= \frac{101,25}{1} \\ &= 101,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_B &= \frac{MS_B}{MS_{Error}} \\ &= \frac{151,25}{1} \\ &= 151,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{AXB} &= \frac{MS_{AXB}}{MS_{Error}} \\ &= \frac{84,05}{1} \\ &= 84,05 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.31 dapat dilihat bahwa F_{hitung} semua faktor lebih besar daripada F_{tabel} (8,53) sehingga H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari faktor reaktor filtrasi, faktor reaktor adsorbsi dan interaksi dari kedua faktor tersebut, pengaruh faktornya terhadap kekeruhan berbeda secara signifikan untuk setiap level yang diuji.



Gambar 4.32. Grafik Interaksi antara Faktor A dan Faktor B terhadap Kekeruhan

Berdasarkan gambar 4.32, dapat disimpulkan bahwa rata-rata kualitas air terbaik ditinjau dari kekeruhannya dapat dihasilkan melalui faktor Filtrasi level 1 dan adsorpsi level 1. Selain itu, dapat disimpulkan pula bahwa diantara kedua faktor tersebut terjadi interaksi.

b. Uji Anova untuk Fe

H_{01} : Pengaruh reaktor filtrasi terhadap kandungan Fe tidak berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

H_{11} : Pengaruh reaktor filtrasi terhadap kandungan Fe berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

H_{02} : Pengaruh reaktor adsorpsi terhadap kandungan Fe tidak berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

H_{12} : Pengaruh reaktor adsorpsi terhadap kandungan Fe berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

Keputusan terhadap hipotesis nol didasarkan pada nilai F_{hitung} , yakni hipotesis nol (H_0) ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan diterima jika $F_{hitung} < F_{tabel}$. F_{tabel} diperoleh dari tabel distribusi F kumulatif, dengan $df_1 = df$ yang bersangkutan dan $df_2 = df_{error}$. Dengan derajat kepercayaan 99%, $df_1 = 1$ dan $df_2 = 16$, nilai $F_{tabel} = 8,53$.

cc. Persiapan uji anova R2

Rep	TREATMENT			
	a1b1	a2b1	a1b2	a2b2
1	0,0366	0,0046	0,0851	0,0781
2	0,0365	0,0042	0,0850	0,0780
3	0,0367	0,0051	0,0850	0,0788
4	0,0368	0,0047	0,0853	0,0786
5	0,0369	0,0049	0,0856	0,0785
ΣAB	0,1835	0,0235	0,4260	0,3920
ΣY^2	0,0067	0,0001	0,0363	0,0307
Y bar	0,0367	0,0047	0,0852	0,0784
s	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003
AB Matrix (sum)				
				Marginal Sum
		B1	B2	
A	A1	0,1835	0,4260	0,6095
	A2	0,0235	0,3920	0,4155
Marginal Sum		0,2070	0,8180	1,0250
AB Matrix (mean)				

		B		Marginal Sum
		B1	B2	
A	A1	0,0367	0,0852	0,1219
	A2	0,0047	0,0784	0,0831
Marginal Sum		0,0414	0,1636	0,2050

Untuk mempermudah menghitung *sums of squares*, *degrees of freedom*, *mean square* dan *F ratio*, dilakukan beberapa perhitungan persiapan ditunjukkan pada tabel 4.32.

gg. Uji Anova terhadap R2

SOURCE	SS	DF	MS	F hitung
A	0,0019	1,0000	0,0019	23522,5000
B	0,0187	1,0000	0,0187	233325,6250
AXB	0,0008	1,0000	0,0008	9922,5000
ERROR	0,000001	16,0000	0,0000001	
TOTAL	0,02134293	19,0000	0,0011	

❖ Contoh Perhitungan:

1. Perhitungan *Sums Of Square*

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \frac{\sum A^2}{(b)(n)} - \frac{T^2}{(a)(b)(n)} \\
 &= \frac{(0,6095)^2 + (0,4155)^2}{(2)(5)} - \frac{(1,0250)^2}{(2)(2)(5)} \\
 &= 0,0544 - 0,0525 \\
 &= 0,0019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS_B &= \frac{\sum B^2}{(a)(n)} - \frac{T^2}{(a)(b)(n)} \\
 &= \frac{(0,2070)^2 + (0,8180)^2}{(2)(5)} - \frac{(1,0250)^2}{(2)(2)(5)} \\
 &= 0,0712 - 0,0525 \\
 &= 0,0187
 \end{aligned}$$

$$SS_{A \times B} = \frac{\sum AB^2}{n} - \frac{\sum A}{(b)(n)} - \frac{\sum B^2}{(a)(n)} + \frac{\sum T^2}{(a)(b)(n)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(0,1835)^2 + (0,4260)^2 + (0,0235)^2 + (0,3920)^2}{5} - 0,0544 - 0,0712 + \\
&\quad 0,0525 \\
&= 0,0739 - 0,0544 - 0,0712 + 0,0525 \\
&= 0,0008
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{Error} &= \sum Y^2 - \frac{\sum (AB)^2}{n} \\
&= 0,0067 + 0,0001 + 0,0363 + 0,0307 - 0,0738729 \\
&= 0,0738742 - 0,0738729 \\
&= 0,000001
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{Total} &= \sum Y^2 - \frac{\sum (T)^2}{(a)(b)(n)} \\
&= 0,0738742 - 0,0525 \\
&= 0,02134293
\end{aligned}$$

2. Perhitungan *Degree Of Freedom*

$$\begin{aligned}
Df_A &= a - 1 \\
&= 2 - 1 \\
&= 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Df_B &= b - 1 \\
&= 2 - 1 \\
&= 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Df_{A \times B} &= (a - 1)(b - 1) \\
&= (2 - 1)(2 - 1)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Df_{Error} &= (a)(b)(n - 1) \\
&= (2)(2)(5 - 1) \\
&= 16
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Df_{Total} &= (a)(b)(n) - 1 \\
&= (2)(2)(5) - 1 \\
&= 19
\end{aligned}$$

3. Perhitungan *Mean Square*

$$\begin{aligned}
 MS_A &= \frac{SS_A}{df_A} \\
 &= \frac{0,0019}{1} \\
 &= 0,0019
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_B &= \frac{SS_B}{df_B} \\
 &= \frac{0,0187}{1} \\
 &= 0,0187
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_{A \times B} &= \frac{SS_{AXB}}{df_{AXB}} \\
 &= \frac{0,0008}{1} \\
 &= 0,0008
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_{Error} &= \frac{SS_{Error}}{df_{Error}} \\
 &= \frac{0,000001}{16} \\
 &= 0,0000001
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_{Total} &= \frac{SS_{Total}}{df_{Total}} \\
 &= \frac{0,02134293}{19} \\
 &= 0,0011
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan *F Ratio*

$$\begin{aligned}
 F_A &= \frac{MS_A}{MS_{Error}} \\
 &= \frac{0,0019}{0,0000001} \\
 &= 23522,5000
 \end{aligned}$$

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_{Error}}$$

$$= \frac{0,0187}{0,0000001}$$

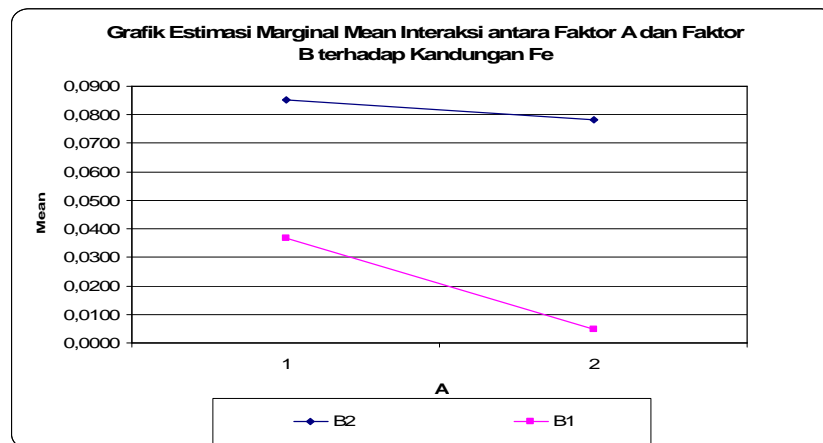
$$= 233325,6250$$

$$F_{AXB} = \frac{MS_{AXB}}{MS_{Error}}$$

$$= \frac{0,0008}{0,0000001}$$

$$= 9922,5000$$

Berdasarkan tabel 4.33 dapat dilihat bahwa F_{hitung} semua faktor lebih besar daripada F_{tabel} (8,53) sehingga H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari faktor reaktor filtrasi, faktor reaktor adsorpsi dan interaksi dari kedua faktor tersebut, pengaruh faktornya terhadap kandungan Fe berbeda secara signifikan untuk setiap level yang diuji.



Gambar 4.33. Grafik Interaksi antara Faktor A dan Faktor B terhadap Fe

Berdasarkan gambar 4.33, dapat disimpulkan bahwa rata - rata kualitas air terbaik ditinjau dari kandungan Fe dapat dihasilkan melalui faktor filtrasi level 2 dan adsorpsi level 1. Selain itu, dapat disimpulkan pula bahwa diantara kedua faktor tersebut terjadi interaksi.

4. *Principal Component Analysis (PCA).*

Untuk masalah multirespon, *PCA* dapat dianggap sebagai alat yang efektif dalam mencari jumlah kecil dari komponen (misalnya K) yang menilai semua variansi dalam *original response* yang ditulis $k < p$ dimana X_1, X_2, \dots, X_p adalah himpunan respon, kemudian dalam *PCA* didapatkan *uncorellated linear combination* dari komponen utama sebagai berikut:

$$Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p$$

Dimana $Z_1 = \text{Principal Component Pertama}$ dan $a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1$.

Principle Component diurutkan sehingga *Principal Component* Pertama memperhitungkan semua variansi dalam data, *Principal Component* kedua lebih sedikit dan seterusnya. Semua *principal component* tidak berhubungan satu sama lain. Variansi dari *Principal Component* disebut *eigenvalues* dan perlu dicatat bahwa jumlah dari variansi *Principal component* sama dengan jumlah variansi response. koefisien dari *principal component* ($a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p}$.) disebut *eigenvectors*. Peraturan empirisnya adalah untuk memilih komponen - komponen dengan *eigenvalues* yang lebih besar atau sama dengan satu. (Anthony, 2000).

1. Melakukan Normalisasi respon

hh. Normalisasi Respon

FAKTOR	RESPON		NORMALISASI	
	R1	R2	R1	R2
A1B1	1,2	0,0367	0	0,49
A2B1	1,6	0,0047	0,04	0
A1B2	2,6	0,0852	0,14	1
A2B2	11,2	0,0784	1	0,91
MAX	11,2	0,0852		
MIN	1,2	0,0047		

❖ Contoh Perhitungan:

$$X_{ij}^* = \frac{x_i(j) - x_i(j)^-}{x_i(j)^+ - x_i(j)^-}$$

$$X_{11} = \frac{1,2 - 1,2}{11,2 - 1,2}$$

$$= 0$$

Bila kedua hasil normalisasi respon disajikan dalam bentuk matrik sebagai berikut:

$$X^* = \begin{pmatrix} 0 & 0,4 \\ 0,04 & 0 \\ 0,14 & 1 \\ 1 & 0,92 \end{pmatrix}$$

2. Menentukan Koefisien Korelasi

ff. Perhitungan Koefisien Korelasi

No	NORMALISASI		$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$
	R1(x)	R2(y)					
1	0,00	0,40	-0,30	-0,18	0,05	0,09	0,03
2	0,04	0,00	-0,26	-0,58	0,15	0,07	0,33
3	0,14	1,00	-0,16	0,42	-0,07	0,02	0,18
4	1,00	0,92	0,71	0,34	0,24	0,50	0,11
	0,30	0,58	Jumlah		0,37	0,67	0,66

❖ Contoh Perhitungan

$$R_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$R_{12} = \frac{0,37}{\sqrt{0,67 \times 0,66}}$$

$$= 0,56$$

Bila R_{11}, R_{12}, R_{21} dan R_{22} disajikan dalam bentuk matrik sebagai berikut:

$$R_{xy} = \begin{pmatrix} 1 & 0,56 \\ 0,56 & 1 \end{pmatrix}$$

3. Menentukan *Eigenvalues*

Eigenvalues dihitung dengan rumus: $|A - \lambda I| = 0$

$$|R_{xy} - \lambda I| = \begin{vmatrix} 1-\lambda & 0,56 \\ 0,56 & 1-\lambda \end{vmatrix} = (1-\lambda)^2 - 0,56^2 = 0$$

$$\lambda^2 - 2\lambda + 1 - 0,3136 = 0$$

$$\lambda^2 - 2\lambda + 0,6864 = 0$$

$$(\lambda - 1,56)(\lambda - 0,44) = 0$$

$$\lambda_1 = 1,56 \text{ dan } \lambda_2 = 0,44$$

Bila λ_1 dan λ_2 disajikan dalam bentuk matrik *eigenvalues* sebagai berikut:

$$\lambda_i = \begin{bmatrix} 1,56 \\ 0,44 \end{bmatrix}$$

4. Menentukan *Eigenvectors*

Eigenvectors dihitung dengan rumus: $(A - \lambda I) x = 0$

Untuk $\lambda = 1,56$, nilai *eigenvectors* ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 1-1,56 & 0,56 \\ 0,56 & 1-1,56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} -0,56 & 0,56 \\ 0,56 & -0,56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} -0,56a_1 + 0,56a_2 \\ 0,56a_1 - 0,56a_2 \end{bmatrix} = 0$$

Dari persamaan matrik di atas didapatkan persamaan -
 $0,56 a_1 + 0,56 a_2 = 0$ atau $0,56 a_1 - 0,56 a_2 = 0$. Sehingga $a_1 = a_2$.
 Persamaan ini merupakan sebuah persamaan yang tidak diketahui
 nilai solusinya. Solusi vektor dapat ditulis dengan konstanta yang
 berubah - ubah (*arbitrary constant*), jika c dianggap sama dengan $\frac{1}{2}\sqrt{2}$
 untuk menormalkan *eigenvector*, didapatkan *eigenvector* $x =$

$$\begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

5. Menentukan nilai *multiresponse performance statistic*(Z_j).

jj. Nilai *Multiresponse performance statistic*

No	NORMALISASI		Zj
	R1(x)	R2(y)	
1	0,00	0,40	0,281043
2	0,04	0,00	0,02828
3	0,14	1,00	0,80598
4	1,00	0,92	1,354278

❖ Contoh Perhitungan:

$$Z_1 = 0,707 x_1 + 0,707 x_2$$

$$Z_{11} = (0,707 \times 0,00) + (0,707 \times 0,4)$$

$$= 0,28$$

6. Menentukan kondisi optimal

Kondisi optimal adalah kondisi yang menghasilkan nilai z maksimum. Nilai z (*multiresponse performance statistic*) pada setiap level faktor harus dihitung dan diidentifikasi pengaruh faktor atau interaksi yang secara signifikan mempengaruhi *multiresponse performance statistics*. *Multiresponse performance statistic* dapat diperlakukan sebagai sebuah individual respon dimana analisis statistik akan dapat dilakukan. Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh faktor atau

interaksi yang secara signifikan mempengaruhi *multiresponse performance statistics* dilakukan uji anova.

H_{01} : Pengaruh reaktor filtrasi terhadap *multiresponse performance statistics* tidak berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

H_{11} : Pengaruh reaktor filtrasi terhadap *multiresponse performance statistics* berbeda secara signifikan untuk setiap levelnya.

Keputusan terhadap hipotesis nol didasarkan pada nilai F_{hitung} , yakni hipotesis nol (H_0) ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan diterima jika $F_{hitung} < F_{tabel}$. F_{tabel} diperoleh dari tabel distribusi F kumulatif, dengan $df_1 = df$ yang bersangkutan dan $df_2 = df_{error}$. Dengan derajat kepercayaan 99%, $df_1=1$ dan $df_2 = 1$, nilai $f_{tabel} = 4052$

kk. Persiapan Uji Anova Nilai
Multiresponse
performance statistic

Rep	TREATMENT			
	A1B1	A2B1	A1B2	A2B2
1	0,28	0,03	0,80	1,35
ΣAB	0,28	0,03	0,81	1,35
ΣY^2	0,08	0,00	0,65	1,83
Y bar	0,28	0,03	0,81	1,35
AB Matrix (sum)				
		FAKTOR B		Marginal Sum
		B1	B2	
A	A1	0,28	0,81	1,09
	A2	0,03	1,35	1,38
Marginal Sum		0,31	2,16	2,47
AB Matrix (mean)				
		FAKTOR B		Marginal Sum
		B1	B2	
A	A1	0,28	0,81	1,09
	A2	0,03	1,35	1,38
Marginal Sum		0,31	2,16	2,47

Untuk mempermudah menghitung sums of squares, degrees of freedom, mean square dan F ratio, dilakukan beberapa perhitungan persiapan ditunjukkan pada tabel 4.37.

II. Uji Anova terhadap Nilai
Multiresponse Performance Statistics

SOURCE	SS	DF	MS
A	0,0218	1,0000	0,0218
B	0,8565	1,0000	0,8565
AXB	0,1604	1,0000	0,1604
ERROR	0,000000E+00	0,0000	
TOTAL	1,038750072	3,0000	0,3463

Berdasarkan tabel 4.38, pengujian untuk hipotesis nol tentang efek tidak bisa dilakukan karena tidak ada nilai df_{error} karena $n = 1$ yang berarti juga hanya dilakukan sebuah eksperimen untuk tiap kombinasi perlakuan.

Pengujian hanya bisa dilakukan jika SS_{AXB} diambil sebagai SS_{error} . Sehingga diperoleh tabel Anova ditunjukkan tabel 4.39. (Sudjana,2002)

mm. Uji Anova terhadap nilai *multiresponse performance statistics* (Revisi)

SOURCE	SS	DF	MS	F hitung
A	0,0218	1,0000	0,0218	0,1361
B	0,8565	1,0000	0,8565	5,3389
Error (AXB)	0,1604	1,0000	0,1604	
TOTAL	1,038750072	3,0000	0,3463	

❖ Contoh Perhitungan:

1. Perhitungan *Sums Of Square*

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \frac{\sum A^2}{(b)(n)} - \frac{T^2}{(a)(b)(n)} \\
 &= \frac{(1,09)^2 + (1,35)^2}{(2)(1)} - \frac{(2,47)^2}{(2)(2)(1)} \\
 &= 1,546 - 1,524 \\
 &= 0,022
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_B &= \frac{\sum B^2}{(a)(n)} - \frac{T^2}{(a)(b)(n)} \\
&= \frac{(0,31)^2 + (2,16)^2}{(2)(1)} - \frac{(2,47)^2}{(2)(2)(1)} \\
&= 2,381 - 1,524 \\
&= 0,8565 \\
SS_{(error)} &= \frac{\sum AB^2}{n} - \frac{\sum A}{(b)(n)} - \frac{\sum B^2}{(a)(n)} + \frac{\sum T^2}{(a)(b)(n)} \\
&= \frac{(0,28)^2 + (0,03)^2 + (0,8)^2 + (1,35)^2}{1} - 1,546 - 2,381 + 1,524 \\
&= 2,56 - 1,546 - 2,381 + 1,524 \\
&= 0,1604 \\
SS_{Total} &= \sum Y^2 - \frac{\sum (T)^2}{(a)(b)(n)} \\
&= 2,56 - 1,524 \\
&= 1,038750072
\end{aligned}$$

2. Perhitungan *Degree Of Freedom*

$$\begin{aligned}
Df_A &= a - 1 \\
&= 2 - 1 \\
&= 1 \\
Df_B &= b - 1 \\
&= 2 - 1 \\
&= 1 \\
Df_{(error)} &= (a - 1) (b-1) \\
&= (2-1) (2-1) \\
&= 1 \\
Df_{Total} &= (a)(b)(n) - 1 \\
&= (2)(2)(1) - 1 \\
&= 3
\end{aligned}$$

3. Perhitungan *Mean Square*

$$\begin{aligned}
 MS_A &= \frac{SS_A}{df_A} \\
 &= \frac{0,022}{1} \\
 &= 0,022
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_B &= \frac{SS_B}{df_B} \\
 &= \frac{0,8565}{1} \\
 &= 0,8565
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MS_{A \times B} &= \frac{SS_{AXB}}{df_{AXB}} \\
 &= \frac{0,1604}{1} \\
 &= 0,1604
 \end{aligned}$$

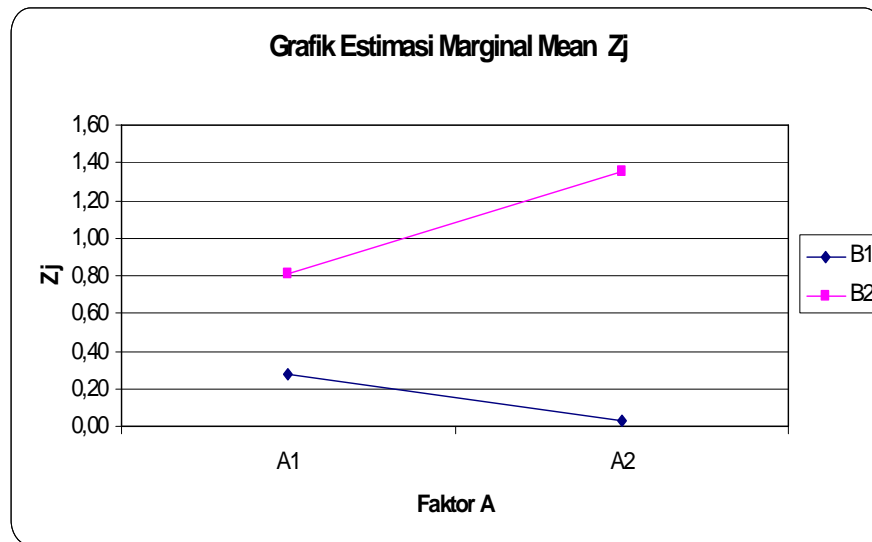
$$\begin{aligned}
 MS_{Total} &= \frac{SS_{Total}}{df_{Total}} \\
 &= \frac{1,038750072}{3} \\
 &= 0,3463
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan *F Ratio*

$$\begin{aligned}
 F_A &= \frac{MS_A}{MS_{Error}} \\
 &= \frac{0,022}{0,1604} \\
 &= 0,1361
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_B &= \frac{MS_B}{MS_{Error}} \\
 &= \frac{0,8565}{0,1604} \\
 &= 5,3389
 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.39 dapat dilihat bahwa F_{hitung} semua faktor lebih kecil daripada F_{tabel} (4052) sehingga H_0 diterima dan dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari faktor reaktor filtrasi, faktor reaktor adsorpsi, pengaruh faktornya terhadap nilai *multiresponse performance statistic* tidak berbeda secara signifikan untuk setiap level yang diuji.



Gambar 4.34. Grafik Estimasi Marginal Mean Z_j

Berdasarkan gambar 4.34, dapat disimpulkan bahwa rata – rata kualitas air terbaik ditinjau dari nilai *multiresponse performance statistic* dapat dihasilkan melalui faktor filtrasi level 2 dan adsorpsi level 1 (pasir + zeolit) walaupun perbedaannya tidak signifikan.

BAB V

ANALISA

5.1 Desain alat Penelitian

Pada Penelitian ini menggunakan dua buah reaktor dan masing – masing menggunakan dua buah media.

5.1.1. Reaktor

1. Saringan Pasir Lambat

Air sumur yang akan disaring berupa cairan yang mengandung butiran halus atau bahan-bahan yang larut dan menghasilkan endapan, maka bahan-bahan tersebut dapat dipisahkan dari cairan melalui filtrasi.

Menurut Standar Nasional Indonesia (2002), Saringan pasir lambat adalah bak saringan yang menggunakan pasir sebagai media filter dengan ukuran butiran sangat kecil, namun mempunyai kandungan kuarsa yang tinggi. Proses penyaringan berlangsung secara gravitasi, sangat lambat, dan simultan pada seluruh permukaan media. Proses penyaringan merupakan kombinasi antara proses fisis (filtrasi, sedimentasi dan adsorpsi), proses biokimia dan proses biologis. Saringan pasir lambat lebih cocok mengolah air baku, yang mempunyai kekeruhan sedang sampai rendah, dan konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) sedang sampai tinggi. Bagi pasir media yang baru pertama kali dipasang dalam bak saringan memerlukan masa operasi penyaringan awal, secara normal dan terus menerus selama waktu kurang lebih tiga bulan. Tujuan operasi awal adalah untuk mematangkan media pasir penyaring dan membentuk lapisan kulit saringan (*schmutsdecke*), yang kelak akan berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses biokimia dan proses biologis. Selama proses pematangan, kualitas filtrat atau air hasil olahan dari saringan pasir lambat, biasanya belum memenuhi persyaratan air minum. Namun berdasarkan pengamatan pada penelitian ini air sampel diambil setelah tujuh hari penggunaan secara normal dan hampir keseluruhannya sudah menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan hasil uji laboratorium dan uji statistik t menunjukkan bahwa semua kombinasi media memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan Fe. Hal ini disebabkan karena sebelum digunakan media telah mengalami pencucian hingga bersih dan higienis.

Sejalan dengan proses penyaringan, bahan pencemar dalam air baku akan bertumpuk dan menebal di atas permukaan media pasir.

Setelah melampaui perioda waktu tertentu, tumpukan tersebut menyebabkan media pasir tidak dapat merembeskan air sebagai mana mestinya, dan bahkan menyebabkan debit efluen menjadi sangat kecil, dan air yang ada di dalam bak saringan mengalir melalui saluran pelimpah. Kondisi ini mengindikasikan bahwa media pasir penyaring sudah mampat (*clogging*). Untuk memulihkan saringan yang mampat, pengelola harus segera mengangkat dan mencuci media pasir menggunakan alat pencuci pasir. Namun pada penelitian ini kapan media harus diangkat, dicuci dan kembali dapat menghasilkan air sesuai dengan yang diharapkan belum dapat ditentukan secara pasti.

Menurut Griswidia (2008), Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada empat yaitu :

- a. Ketebalan lapisan media filter
- b. Temperatur Air
- c. Kecepatan Filtrasi
- d. Kualitas Air
- e. Ukuran butir

Pada penelitian ini, akan diuji apakah perbedaan jenis media berpengaruh terhadap kualitas air yang kan dihasilkan. Oleh karena itu, agar faktor - faktor tersebut tidak ikut mempengaruhi hasil penelitian maka keempat faktor tersebut diusahakan sama.

2. Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses yang terjadi saat gas dan larutan cair terakumulasi pada permukaan benda keras/cairan (*adsorbent*), membentuk lapisan molekul atau atom (*adsorbat*). *Adsorbent* yang digunakan biasanya berbentuk butir-butir bulat, batangan, atau monolith berdiameter *hidrodinamic* 0,5 – 10 mm. *adsorbent* harus memiliki ketahanan abrasi yang tinggi, stabilitas terhadap panas dan pori-pori berdiameter kecil yang menghasilkan area permukaan yang lebih luas dan karenanya memiliki kapasitas permukaan yang tinggi untuk adsorpsi.

Menurut Griswidia (2008), Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah:

- Karakteristik fisika dan kimia adsorben, antara lain : luas permukaan, ukuran pori, komposisi kimia.
- Karakteristik fisis dan kimia air, antara lain : ukuran molekul, polaritas molekul komposisi kimia.
- Konsentrasi adsorbat dalam fase cair.
- Sistem waktu adsorpsi.

Pada penelitian ini, akan diuji apakah perbedaan jenis media berpengaruh terhadap kualitas air yang dihasilkan. Oleh karena itu agar faktor - faktor tersebut tidak ikut mempengaruhi hasil penelitian maka keempat faktor tersebut diusahakan sama.

5.1.2. Media

1. Saringan Pasir Lambat

Menurut Standar Nasional Indonesia, media penyaring harus memenuhi beberapa kriteria yaitu: kandungan silika, Diameter efektif, Koefisien keseragaman, Berat jenis, Kelarutan pasir dalam air, dan Kelarutan pasir dalam HCl. Namun mengingat keterbatasan yang ada dan ukuran butir adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas air hasil filtrasi, pada penelitian ini hanya akan diuji dua buah kriteria yaitu: diameter efektif dan koefisien keseragaman. Pada penelitian ini digunakan dua jenis media yaitu:

a. Pasir

Pasir adalah media konvensional saringan pasir lambat. Sebelum digunakan pasir telah mengalami serangkaian proses sehingga bersih dan higienis.

Berdasarkan analisis ayakan, diameter efektif pasir (P₁₀) sebesar 0,23 mm. Untuk mengetahui nilai koefisien keseragaman, diameter efektif dibagi dengan P₆₀. Dengan cara yang sama yaitu interpolasi grafik P₆₀ diperoleh sebesar 0,69 mm. Sehingga koefisien keseragaman pasir sebesar

3. Berdasarkan data tersebut, pasir layak digunakan sebagai media pada saringan pasir lambat.

b. *Crushed Recycle Glass*

Menurut *Clean Washington Center* (2002), *crushed recycle glass* dapat digunakan sebagai media yang efektif dalam saringan pasir lambat. Sebelum digunakan CRG telah mengalami serangkaian proses sehingga bersih dan higienis.

Berdasarkan analisis ayakan, diketahui diameter efektif CRG (P_{10}) sebesar 0,23 mm. Untuk mengetahui nilai koefisien keseragaman, diameter efektif dibagi dengan P_{60} . Dengan cara yang sama yaitu interpolasi grafik P_{60} diperoleh sebesar 0,71 mm. Sehingga koefisien keseragaman pasir sebesar 3,01. Berdasarkan data tersebut, CRG layak digunakan sebagai media pada saringan pasir lambat.

2. *Adsorbent*

Dengan mempertimbangkan faktor – faktor yang mempengaruhi adsorpsi maka pada penelitian ini, media diambil dari tempat produksi yang sama dengan harapan karakteristik kimia komposisi kimia media sama. Untuk menghasilkan luas permukaan yang sama maka dilakukan *treatment* dengan pengayakan ukuran 3 mm dan 5 mm sehingga dihasilkan adsorbent yang homogen dengan ukuran 3 – 5 mm. Untuk menghasilkan waktu kontak yang sama ketinggian *adsorbent*, debit *influent* dan *effluent* diatur sama. Pada penelitian ini menggunakan dua buah jenis media yaitu:

a. Zeolit

Media ini diambil dari penambangan zeolit di Klaten. Sebelum digunakan zeolit telah mengalami serangkaian proses sehingga bersih dan higienis.

Di Indonesia dikenal dua belas jenis zeolit yaitu Analsim, Wairakit, Natrolit, Thomsonit, Heulandit, Klinoptilolit, Filipsit, Zeolit Na-P-1,

Mordenit, Ferrierit, Kabazit dan Zeolit L. Pada penelitian ini belum dapat diketahui zeolit jenis apa yang paling baik untuk digunakan.

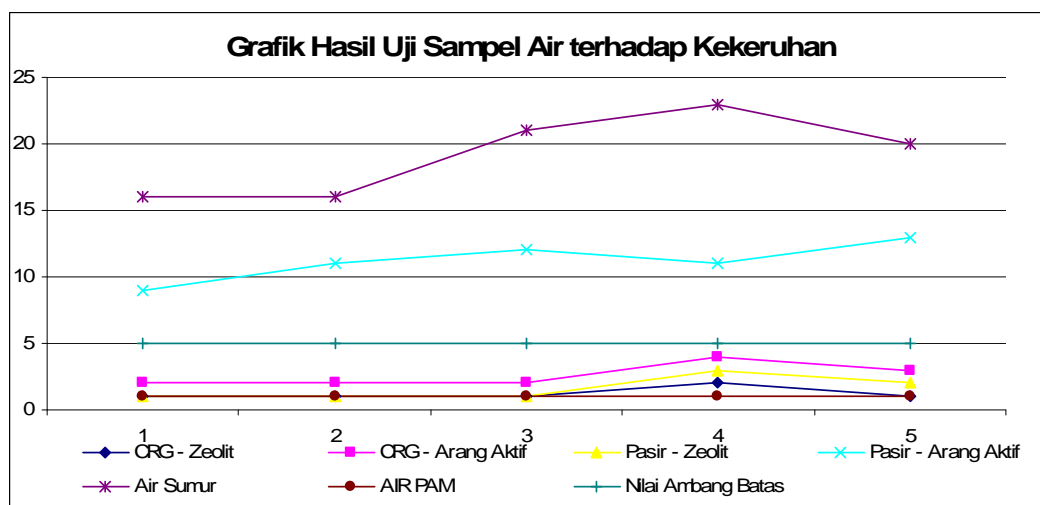
b. Karbon Aktif.

Karbon diambil dari tempurung kelapa yang dijual di pasaran kemudian diperkecil ukurannya dengan cara ditumbuk kemudian diaktivasi. Sebelum digunakan karbon aktif telah mengalami serangkaian proses sehingga bersih dan higienis.

Indonesia mempunyai keanekaragaman hayati cukup besar yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang seperti tempurung kelapa, berbagai jenis kayu, sekam dan lain - lain. Pada penelitian ini belum dapat diketahui karbon katif berbahan dasar apa paling baik untuk digunakan.

5.2 Performansi Kombinasi Reaktor Filtrasi dan Adsorpsi

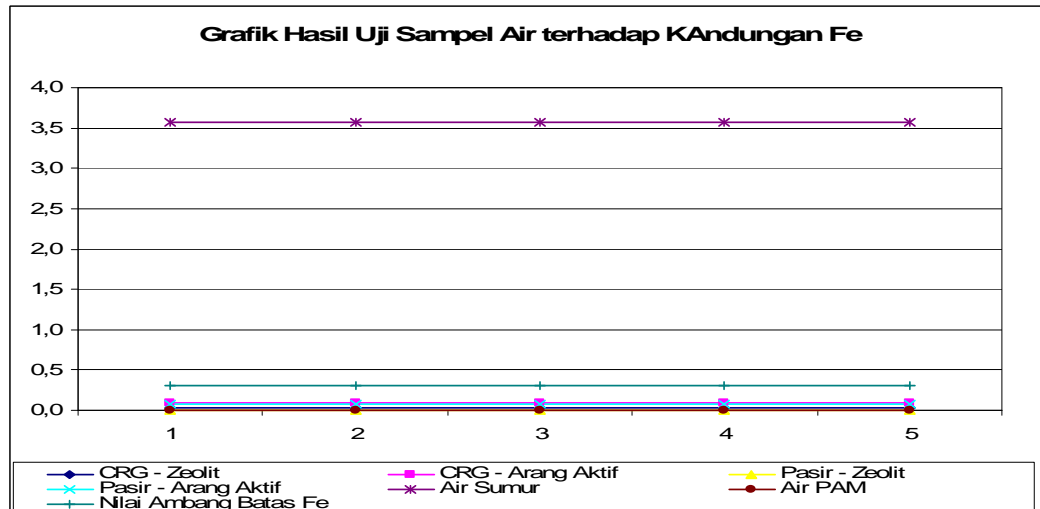
Data hasil uji laboratorium yang dilakukan oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan yogyakarta pada air sumur, air olahan semua kombinasi media dan air PAM terhadap tingkat kekeruhan disajikan dalam bentuk grafik seperti pada tabel 5.1.



Gambar 5.1. Grafik Uji Sampel Air terhadap Kekeruhan

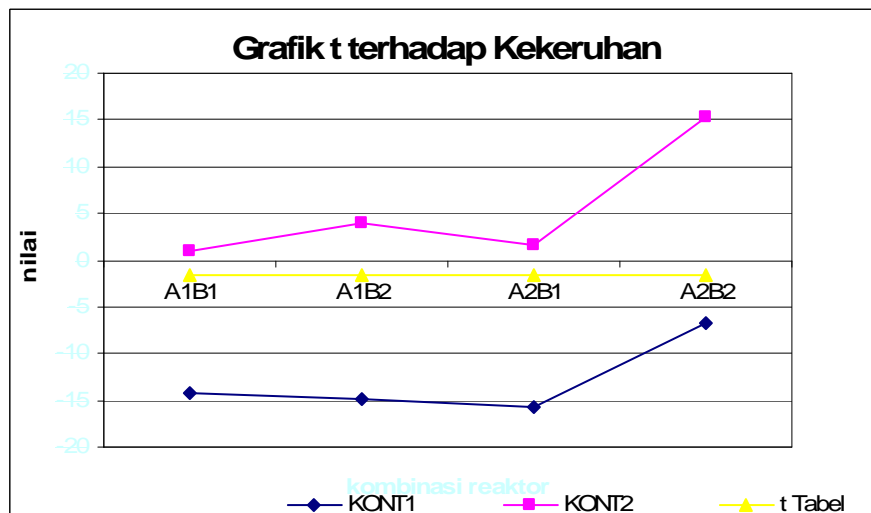
(Sumber: data yang diolah)

Data hasil uji laboratorium yang dilakukan oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan yogyakarta pada air sumur, air olahan semua kombinasi media dan air PAM terhadap kandungan Fe disajikan dalam bentuk grafik seperti pada tabel 5.2.



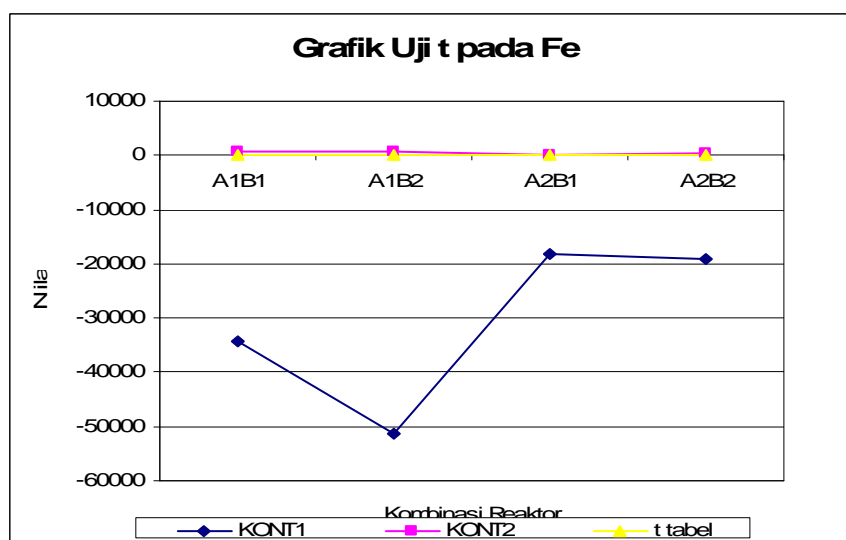
Gambar 5.2 Grafik Uji Sampel Air terhadap Kandungan Fe
(Sumber: data yang diolah)

Berdasarkan Gambar 5.1. dan 5.2.diketahui bahwa kelima buah sampel air sumur diketahui bahwa kelima sampel air tersebut memiliki tingkat kekeruhan dan kandungan Fe di atas nilai ambang batas SNI yaitu 0,3 mg/L dan 5 NTU sehingga tidak layak untuk dikonsumsi dengan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Selain itu, dapat diketahui pula keempat kombinasi media mampu menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan Fe dalam air.



Gambar 5.3. Grafik Uji t terhadap Tingkat Kekeruhan
(Sumber: data yang diolah)

Berdasarkan gambar grafik 5.3 diketahui bahwa nilai t hitung sampel air olahan terhadap kontrol 1 baik pada tingkat kekeruhan lebih kecil dari pada nilai t tabel. Sedangkan nilai t hitung sampel air olahan terhadap kontrol 2 tingkat kekeruhan lebih besar daripada t tabel. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat kekeruhan air olahan sudah jauh menurun daripada air sumur dan sudah hampir sama dengan air PAM. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan semua kombinasi media sangat baik digunakan untuk menurunkan tingkat kekeruhan.

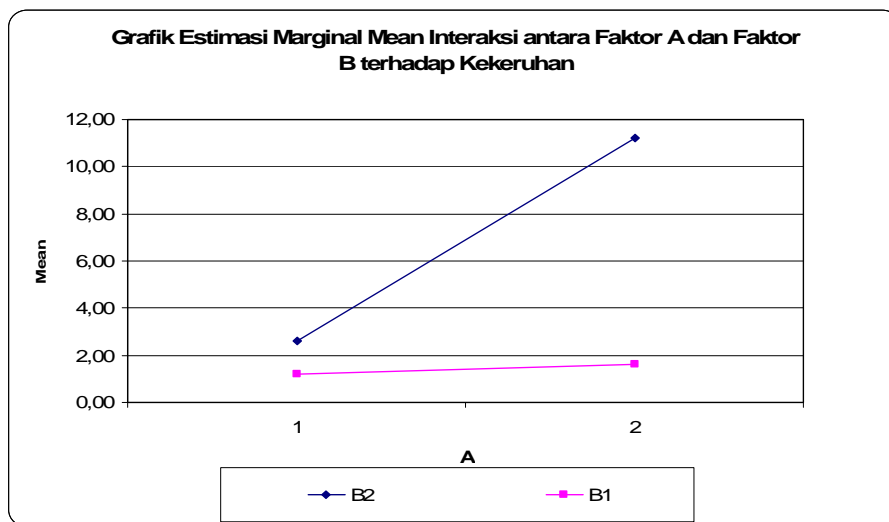


Gambar 5.4. Grafik Uji t terhadap Kandungan Fe

(Sumber: data yang diolah)

Berdasarkan gambar grafik 5.4 diketahui bahwa nilai t hitung sampel air olahan terhadap kontrol 1 baik pada kandungan Fe lebih kecil dari pada nilai t tabel. Sedangkan nilai t hitung sampel air olahan terhadap kontrol 2 pada kandungan Fe lebih besar daripada t tabel. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa baik kandungan Fe air olahan sudah jauh lebih sedikit daripada air sumur dan sudah hampir sama dengan air PAM. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan semua kombinasi media sangat baik digunakan untuk menurunkan kandungan Fe.

Untuk mengetahui media yang paling baik digunakan untuk menurunkan tingkat kekeruhan dapat dilakukan dengan cara mengplotkan nilai rata - rata tingkat kekeruhan air hasil olahan semua kombinasi media dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.5.



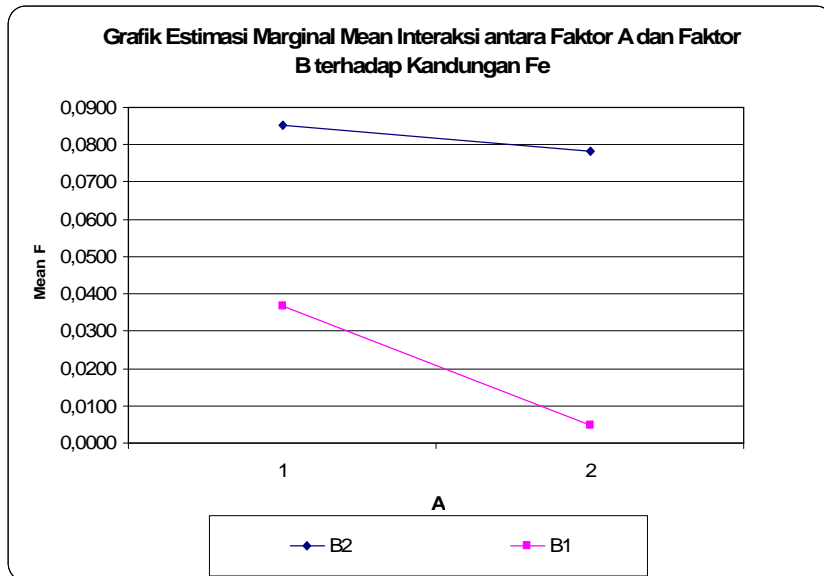
Gambar 5.5 Gambar Plot Nilai Rata - Rata Tingkat Kekeruhan
(Sumber: data yang diolah)

Berdasarkan gambar 5.5 diketahui bahwa nilai rata - rata tingkat kekeruhan A1 (CRG) lebih kecil daripada A2, nilai rata - rata B1 (zeolit) lebih kecil daripada B2 (karbon aktif) dan berdasarkan bentuk pola gambar mengindikasikan pengaruh kedua reaktor secara bersama - sama terhadap tingkat kekeruhan. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan

melakukan penghitungan uji Anova. Berdasarkan hasil uji anova terhadap hasil uji tingkat kekeruhan diketahui bahwa F_{hitung} semua faktor lebih besar daripada F_{tabel} (8,53) sehingga H_0 ditolak dan dapat diketahui bahwa:

1. CRG memiliki kemampuan yang jauh lebih baik daripada pasir dalam menurunkan tingkat kekeruhan. Hal ini dikarenakan CRG memiliki kandungan SiO_2 yang lebih besar mengingat bahan utama pembuatan kaca adalah pasir silika. Namun akibatnya dibandingkan dengan pasir, CRG lebih cepat mampat (*clogging*) diiringi dengan turunnya ketinggian CRG tujuh centimeter selama 6 bulan pertama.
2. Zeolit memiliki kemampuan yang jauh lebih baik daripada karbon aktif. Hal ini diakibatkan berdasarkan pengamatan zat warna hitam pada karbon aktif masih ikut terlarut dalam air olahan.
3. Pengaruh interaksi kedua reaktor cukup besar. Hal ini dikarenakan reaktor adsorpsi dapat digunakan sekaligus sebagai penahan setelah kerikil sehingga pasir & CRG yang ikut larut dan dapat menurunkan tingkat kekeruhan ditahan oleh media ini.

Untuk mengetahui media yang paling baik digunakan untuk menurunkan Kandungan Fe dapat dilakukan dengan cara mengeplotkan nilai rata - rata kandungan Fe air hasil olahan semua kombinasi media dalam bentuk grafik seperti pada gambar 5.6.

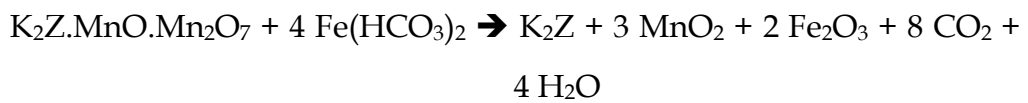


Gambar 5.6 Gambar Plot Nilai Rata – Rata Tingkat Kekeruhan
(Sumber: data yang diolah)

Berdasarkan gambar 5.5 diketahui bahwa nilai rata – rata tingkat kekeruhan A2 (CRG) lebih kecil daripada A1, nilai rata – rata B1 (zeolit) lebih kecil daripada B2 (karbon aktif) dan berdasarkan bentuk pola gambar mengindikasikan pengaruh kedua reaktor secara bersama – sama terhadap tingkat kekeruhan. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan melakukan penghitungan uji Anova. Berdasarkan hasil uji anova terhadap hasil uji tingkat kekeruhan diketahui bahwa F_{hitung} semua faktor lebih besar daripada F_{tabel} (8,53) sehingga H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pasir memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menurunkan kandungan Fe daripada CRG. Hal ini disebabkan oleh tingkat keseragaman (UC) pasir baik daripada CRG. Semakin seragam ukuran butir dapat mengakibatkan ukuran pori yang terbentuk diantara butiran lebih seragam. Sehingga peluang lolosnya senyawa Fe yang berbentuk padat menjadi lebih kecil.
2. Zeolit memiliki kemampuan yang jauh lebih baik daripada karbon aktif dalam menurunkan kandungan Fe. Hal ini disebabkan disamping

memiliki kemampuan sebagai *adsorbent*, zeolit juga dapat berperan sebagai *ion exchanger* dengan reaksi sebagai berikut:



Sedangkan reaksi yang terjadi pada karbon aktif adalah sebagai berikut:



Berdasarkan kedua reaksi di atas diketahui bahwa kemampuan mengikat Fe zeolit lebih besar daripada arang aktif. Hal ini dapat dilihat bahwa satu partikel zeolit mampu mengikat empat partikel $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ Sedangkan satu partikel karbon hanya mampu mengikat satu partikel $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

3. Pengaruh interaksi kedua reaktor cukup besar. Kerjasama antara kedua media tersebut dalam menurunkan kandungan Fe sebagai berikut:
 - a. Saringan pasir lambat untuk menyaring oksida besi dan besi dalam bentuk senyawa garam yang tak larut dalam air (padatan).
 - b. Reaktor adsorpsi menyerap Fe oleh permukaan permukaan media.

Dari kedua hasil uji diatas ternyata respon optimal tingkat kekeruhan dan kandungan Fe tidak mempunyai kombinasi level yang sama. Dengan menggunakan metode Principal Component Analysis akan diperoleh level yang tepat untuk masing-masing faktor yang dapat mengoptimalkan kedua respon secara serentak. Berdasarkan hasil pengujian dengan metode ini diperoleh nilai Z_j (*multiresponse performance statistic*) yang paling kecil yaitu kombinasi pasir dan zeolit yaitu 0,028. Berdasarkan analisis anova terhadap *multiresponse performance statistic* diketahui bahwa kemampuan Pasir dan zeolit tidak berbeda secara signifikan dibandingkan dengan CRG dan karbon aktif sehingga CRG dan karbon aktif dapat mensubstitusikan pasir dan zeolit. Selain itu, CRG

dan arang aktif yang merupakan limbah dapat menjadi alternatif yang baik sebagai pengganti pasir dan zeolit.

5.3 Feasibilitas Implementasi Media

Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, dapat diketahui beberapa hal antara lain:

1. Semua media merupakan media yang baik dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan Fe.
2. CRG dan Zeolit adalah media terbaik dalam menurunkan tingkat kekeruhan.
3. Pasir dan zeolit adalah media terbaik dalam menurunkan kandungan Fe.

Dengan mempertimbangkan ketiga aspek di atas dan kondisi di lapangan dimana Purworejo adalah salah satu kabupaten yang memiliki luas lahan pertanian, perkebunan dan hutan yang cukup luas serta dialiri sungai besar penghasil pasir maka pasir dan karbon aktif merupakan media dengan kelimpahan yang lebih banyak dibandingkan CRG dan zeolit sehingga secara ekonomis lebih murah dan lebih memungkinkan untuk digunakan walaupun tidak menghasilkan air dengan kualitas terbaik.

Namun dengan lebih mempertimbangkan aspek yang lain seperti aspek lingkungan, CRG dan karbon aktif merupakan media yang sebaiknya digunakan mengingat zeolit dan pasir merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Sementara itu disisi lain, limbah kaca merupakan limbah yang sulit untuk diuraikan oleh alam sehingga bila tidak ditangani dengan tepat dapat menjadi permasalahan di kelak kemudian hari. Oleh karena itu, penggunaan media CRG dan karbon aktif yang didapat dari sumber daya alam yang dapat diperharui dapat dipandang sebagai salah satu langkah penyelamatan lingkungan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil uji statistik pada hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe dan tingkat kekeruhan, kedua jenis media filtrasi dan adsorpsi menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam menurunkan kandungan Fe dan tingkat kekeruhan.
2. Berdasarkan hasil uji statistik pada hasil pengujian laboratorium terhadap kandungan Fe dan tingkat kekeruhan, kedua jenis media filtrasi dan adsorpsi menunjukkan kemampuan yang berbeda secara signifikan dalam menurunkan kandungan Fe dan tingkat kekeruhan. Namun, bila dilihat kemampuannya dalam menurunkan kandungan Fe dan tingkat kekeruhan secara simultan tidak berbeda secara signifikan.
3. Berdasarkan hasil uji statistik yang telah dilakukan diketahui bahwa:
 - a. Kombinasi CRG dan zeolit memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menurunkan tingkat kekeruhan.
 - b. Kombinasi Pasir dan zeolit memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menurunkan kandungan Fe.

- c. Kombinasi keempat kombinasi memiliki kemampuan yang sama dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kandungan Fe secara simultan.

VI.2. Saran

Agar dapat optimal dalam implementasinya masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut seperti waktu efektif penggunaan media, pengujian terhadap parameter kualitas yang lain, penggunaan alternatif media yang lain, dan pengujian pengaruh karakteristik fisika dan kimia bahan.